

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

E. A. P. DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Evaluación de la degradación de ecosistemas
dulceacuícolas en la cuenca baja del río Uctubamba
(Amazonas - Perú) mediante el uso de
macroinvertebrados bentónicos**

TESIS

para optar el título profesional de Biólogo con mención en Hidrobiología y
Pesquería

AUTOR

Darwin Ronal Valcárcel Rojas

ASESOR

Ana Asunción Huamantínco Araujo

Lima-Perú

2011

*A mis padres Juan y Flor, que me
dieron la vida y el temple para afrontarla sin
vacilaciones.*

*A Vanessa y Gisela que fueron mi
principal motivación.*

AGRADECIMIENTOS

A veces las palabras pueden quedar cortas cuando se trata de expresar un profundo y gratificante agradecimiento a quienes debemos. No me cansaré de agradecer en primer lugar a mis padres, por su constante apoyo durante toda la vida y cómo no durante la ejecución de esta tesis. Después de una prudente espera solo quiero mostrarles los resultados de mi esfuerzo.

A mi asesora de tesis, la Dra. Ana Huamantínco, que sin haberme formado durante los cursos del pre-grado, me acogió de la mejor manera en su laboratorio al conocer mi inquietud por desarrollar el tema, brindándome las facilidades para desenvolver cuanto proyecto estuviera en mi mente así como la presente tesis. Le agradezco profundamente su amistad, confianza, paciencia y tiempo para dotarme del conocimiento práctico y por sumergirme en este maravilloso tema del bentos continental.

A los profesores miembros del jurado de tesis Mg. Iris Samanez Valer, Blgo. César Arana Bustamante y Mg. Giovanna Sotil Caycho por sus aportes y recomendaciones al manuscrito inicial que me dieron la oportunidad de aclarar mejor mis ideas y expresarlas en un lenguaje de más fácil comprensión para cualquier investigador.

A la “Asociación peruana para la conservación de la naturaleza (APECO)” que en las personas de la Dra. Mónica Romo, Blga. Mariella Leo, Ing. Pedro Baras y otros más que forman este gran equipo, decidieron llevar adelante conmigo este importante proyecto brindándome todas las facilidades en la parte logística. Al Gobierno Regional de Amazonas, institución pública que encargó el estudio y brindó las facilidades económicas para tal fin.

A mis amigos Bach. Elmer Ramos, Blgo. Pedro Sánchez y Blgo. Dante Espinoza que me asistieron directa e indirectamente con los análisis comunitarios y un mejor entendimiento de la teoría estadística básica para desarrollar esta investigación. A mi amigo Bach. Eder Chilquillo que me acompañó en una salida infructuosa a la zona de estudio, quizás el momento más duro en el proceso de desarrollo de la tesis. A mi amigo Bach. Junior Chuctaya que entre broma y broma me invitaba a seguir asumiendo retos académicos como profesional.

A los integrantes del Laboratorio de Ecología de la Facultad, al profesor Blgo. Oswaldo Cornejo por facilitarme el ambiente de trabajo y la confianza en la responsabilidad del laboratorio; a mis compañeros del laboratorio Bach. Willington Ortiz, Bach. Ernesto Rázuri, Bach. Jorge Peralta y Bach. Edwin Sifuentes que me brindaron mis primeras lecciones de Entomología Acuática en un ambiente bastante ameno, y por su amistad y confianza que se manifestaron en actividades conjuntas y las bromas que gastábamos cuando el entorno se hacía monótono.

A todos quienes en algún momento me apoyaron en alguna parte de este proceso, estoy seguro que estoy olvidando muchos nombres pero sus aportes estuvieron presentes en cada línea que escribí como si fuesen centinelas de mi puño y letra.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. El departamento de Amazonas y el río Utcubamba	4
2.2. La actividad agrícola y los ecosistemas acuáticos	6
2.3. Los macroinvertebrados como indicadores de impacto agrícola	8
3. OBJETIVOS	12
4. MATERIAL Y METODOS	13
4.1. Área de estudio	13
4.2. Diseño de estudio	15
4.3. Periodo de muestreo	16
4.4. Caracterización ambiental	16
4.5. Caracterización de calidad del agua	17
4.6. Colecta de macroinvertebrados bentónicos	17
4.7. Análisis de datos	19
4.7.1. Análisis univariados	19
4.7.2. Análisis multivariados	19
4.7.3. Medidas bioindicadoras	20
4.7.4. Relación entre variables bióticas y abióticas	20
5. RESULTADOS	20
5.1. Caracterización de las estaciones de muestreo	21
5.2. Caracterización ambiental	27
5.3. Caracterización de calidad del agua	28
5.4. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos	29
5.4.1. Composición	30

5.4.2. Abundancia	33
5.5. Análisis de datos	34
5.5.1. Análisis univariados	34
5.5.2. Análisis multivariados	37
5.5.3. Medidas bioindicadoras	39
5.5.3.1. Medidas de composición y riqueza	39
5.5.3.2. Índices bióticos	40
5.5.4. Relación entre variables bióticas y abióticas	42
6. DISCUSION	42
7. CONCLUSIONES	50
8. RECOMENDACIONES	51
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	53
10. ANEXOS	66
Anexo 1. Protocolo "RCE": <i>Riparian, Channel and Environment</i> .	66
Anexo 2. Taxa presentes en época húmeda.	69
Anexo 3. Taxa presentes en época seca.	70
Anexo 4. Réplicas de riqueza en el área de estudio. Periodo 2009.	72
Anexo 5. Réplicas de abundancia en el área de estudio. Periodo 2009.	73
Anexo 6. Análisis SIMPER. Disimilitud entre épocas seca y húmeda.	73
Anexo 7. Análisis SIMPER. Disimilitud entre estaciones de muestreo. Época seca.	73
Anexo 8. Análisis SIMPER. Similitud de las estaciones de muestreo. Época seca.	77
Anexo 9. Correlación entre variables bióticas y de calidad de agua. Época seca.	80
Anexo 10. Algunos taxa encontrados en el área de estudio. Periodo 2009.	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación y descripción de las estaciones de muestreo en la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú).	15
Tabla 2. Medidas hidrológicas en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época húmeda, febrero 2009.	27
Tabla 3. Medidas hidrológicas en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009.	27
Tabla 4. Índice de integridad ambiental en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).	28
Tabla 5. Parámetros de calidad de agua en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época húmeda, febrero 2009.	29
Tabla 6. Parámetros de calidad de agua en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009.	30
Tabla 7. Valores de riqueza, abundancia y densidad en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).	31
Tabla 8. Número de taxa colectados en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).	32
Tabla 9. Número de individuos colectados en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).	34

Tabla 10. Medidas de composición y riqueza en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009. 40

Tabla 11. Valores de BMWP'/Col., clase y calidad del agua en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009. 41

Tabla 12. Valores de IBF y calidad del agua en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009. 42

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del Utcubamba (Amazonas-Perú) y sus respectivas estaciones de muestreo en su parte baja. 14
- Figura 2. Río Utcubamba, aguas arriba (E-01). Localidad El Salao, cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009). 21
- Figura 3. Río Utcubamba aguas abajo (E-02). Localidad Rentema, cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009). 22
- Figura 4. Quebrada Alenguía (E-03). Cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009). 23
- Figura 5. Quebrada La Peca (E-04). Cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009). 24
- Figura 6. Quebrada Jamalca (E-05). Cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009). 25
- Figura 7. Quebrada Honda (E-06). Cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009). 26
- Figura 8. Variación de la riqueza entre las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009. 35
- Figura 9. Variación de la abundancia entre las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009. 36
- Figura 10. Dendrograma de similitud entre las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009. 38
- Figura 11. Ordenamiento no paramétrico nMDS entre las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009. 39

RESUMEN

La agricultura es una de las actividades económicas más importantes del mundo tanto por los ingresos económicos que representa para las economías nacionales así como por la gran cantidad de empleos que genera, sin embargo como toda actividad humana ha ejercido una fuerte presión sobre el medio natural siendo los ambientes acuáticos uno de los más afectados. La presente investigación tiene como objetivo evaluar la degradación de ambientes acuáticos en la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), zona donde se desarrolla una próspera actividad agrícola, utilizando el potencial de bioindicación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. Se eligieron seis estaciones de muestreo ubicadas tanto en el río principal como en sus afluentes, estableciendo zonas control y zonas de estudio, las cuales fueron evaluadas durante la estación húmeda (febrero 2009) y la estación seca (setiembre 2009). En primer lugar se caracterizaron las condiciones ambientales y de calidad de agua en las estaciones de muestreo evaluadas, para luego analizar la estructura comunitaria y las medidas bioindicadoras de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. Se encontraron cambios notables en las características ambientales (hidrología e integridad ambiental) y de calidad del agua entre ambas épocas, mas no así entre estaciones de muestreo; sin embargo los análisis comunitarios confirmaron la existencia de diferencias a escala temporal y entre estaciones de muestreo mediante técnicas estadísticas no paramétricas. La prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney encontró diferencias significativas de las variables riqueza y abundancia a nivel temporal ($p < 0,05$), mientras que el análisis ANOSIM las encontró en la estructura comunitaria a nivel temporal ($p < 0,05$) y entre estaciones de muestreo ($p < 0,05$). Los análisis de agrupamiento y ordenamiento nMDS definieron dos grupos bien diferenciados a un nivel de 45% de similitud, un primer grupo considerado el menos degradado conformado por las estaciones E-01, E-02 y E-06 y el segundo

considerado el más degradado conformado por E-03, E-04 y E-05; estos resultados fueron apoyados por lo encontrado por las medidas bioindicadoras de composición y riqueza y los análisis bióticos que exhibieron una gradualidad en los mismos. De esta manera puede concluirse que a partir del análisis de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos fue posible encontrar diferentes grados de degradación de los ecosistemas lóticos de la cuenca baja del río Utcubamba. Otros aportes importantes de la investigación son el hallazgo de una elevada diversidad de la macrofauna bentónica en ambientes acuáticos de selva alta (90 taxa), presencia de géneros con importante potencial en estudios de bioindicación (*Baetodes*, *Leptohyphes* y *Tricorythodes*) y la aplicabilidad de los índices bióticos BMWP/Col e IBF en el área de estudio.

Palabras clave: macroinvertebrados bentónicos, agricultura, medidas bioindicadoras, río Utcubamba, Perú.

ABSTRACT

Agriculture is one of the most important economic activities in the world, both because of the income it represents for national economies, and the large number of jobs it creates. But like any human activity, it has exerted strong pressures on natural environments, particularly aquatic environments. This research aims to evaluate the degradation of aquatic environments in the lower Utcubamba River basin (Amazonas, Peru), an area of developing prosperous agricultural activity, using the principles of bioindication, which assesses species distribution of the benthic macroinvertebrate community to help determine environmental changes. Six sampling stations located in the main River and its tributaries were chosen, establishing control zones and study areas. These were evaluated during the wet season (February 2009) and the dry season (September 2009). First, the environmental conditions and water quality were characterized, and then the community structure and metrics of benthic macroinvertebrate community in the study area was analyzed. Clear changes in environmental characteristics (hydrology and environmental integrity) and water quality between the two periods were found, although differences in these environmental characteristics were not recorded between sampling stations. However, community analysis confirmed the existence of differences in species distribution between the time periods and between sampling stations using non-parametric statistical techniques. The Wilcoxon-Mann-Whitney test found temporal differences ($p < 0.05$) in richness and abundance variables, while the ANOSIM analysis found differences in the community structure between the time periods ($p < 0.05$) and between sampling stations ($p < 0.05$). The cluster analysis and ordination nMDS identified two distinct groups at a level of 45% similarity, the first group considered the least degraded formed by the stations E-01, E-02 and E-06 and the second considered the most degraded formed E-03, E-04 and E-05, these results were supported by the findings of the metrics of composition

and richness and biotic indexes which showed a gradual change. Thus we can conclude that the analysis of benthic macroinvertebrate community was able to find different degrees of degradation of the aquatic ecosystems of the lower Utcubamba River basin. Other important research contributions were the discovery of a high diversity of benthic macrofauna in aquatic environments of high forest (90 taxa), presence of genera with significant potential in studies of bioindication (*Baetodes*, *Leptohyphes* and *Tricorythodes*) and the applicability of biotic indices BMWP / Col and IBF in the study area.

Key words: *benthic macroinvertebrates, agriculture, metrics, Utcubamba River, Peru.*

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades económicas más importantes en el mundo desde los inicios de la civilización, pues de ella depende la seguridad alimentaria de las naciones. Las estadísticas de la FAO revelan que a inicios del siglo XXI, 2 570 millones de personas dependían de la agricultura, la caza, la pesca o la silvicultura para su subsistencia, incluidas las que se dedican activamente a esas tareas y sus familiares a cargo sin trabajo, representando el 42 por ciento de la población mundial. Actualmente, es la principal actividad económica en muchos países en vías de desarrollo (FAO, 2005).

En las últimas décadas se ha discutido mucho acerca de los impactos derivados de las prácticas agrícolas, las cuales han ido extendiéndose y diversificándose en el mundo, a la par con los avances de la ingeniería y biotecnología aplicada a los cultivos. Si a inicios del siglo pasado los principales problemas ambientales estaban relacionados a la canalización de ríos, uso ineficiente del agua, deforestación y erosión del suelo; con el desarrollo de la "revolución verde", éstos se han agudizado y han aparecido otros como agotamiento de acuíferos, salinización de suelos, pérdida de diversidad, uso excesivo de agroquímicos e inadecuada disposición de los subproductos de esta actividad en los ecosistemas acuáticos (Lenat & Crawford, 1994; Davis *et al.*, 2003; Jergentz *et al.*, 2005).

A diferencia de otras actividades como la minería, el tipo de impactos ambientales relacionados con la agricultura proceden de fuentes no puntuales, es decir que se extienden en forma difusa e indirecta sobre un área, lo que hace que sea difícil su vigilancia (Schulz, 2004) y por tanto, se hace también muy complicado legislar en esa materia. El problema se agudiza aún más cuando las tierras están muy parceladas y

distribuidas en un gran número de propietarios, lo que hace más difícil llevar un control ambiental e implementar prácticas agrícolas más eficientes.

Esta realidad no es ajena a nuestro país, por esta razón, como una medida contra el daño ambiental en las cuencas de los ríos de Amazonas, el Concejo Regional de Amazonas aprobó la conformación del Grupo Técnico (GT) de Gestión de cuencas “Ríos Limpios” de Amazonas¹ que tuvo como objetivo principal dar un diagnóstico ambiental de los cuerpos de agua del departamento. Para tal fin, consideró conveniente desarrollar un estudio hidrobiológico en la cuenca baja del río Utcubamba que permitiera conocer su integridad biológica contando con el uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores.

La investigación tuvo como escenario el valle del río Utcubamba (Amazonas-Peru), lugar donde se desarrolla una próspera actividad agrícola destacándose el cultivo del arroz. Entre los principales problemas de impacto agrícola observados en la cuenca baja pueden citarse los relacionados con la inexistencia de un ordenamiento territorial, manifestados en la ocupación del área ribereña a favor de la agricultura y actividades de infraestructura vial, y también los relacionados con el excesivo uso de agroquímicos (fertilizantes y pesticidas) (APECO, 2009).

Una de las principales razones para incluir a los macroinvertebrados bentónicos como una herramienta complementaria en la evaluación de la integridad de un ecosistema acuático, son las limitaciones que presentan los métodos químicos para detectar perturbaciones no puntuales de origen difuso, objetivo que sí se puede lograr con los métodos biológicos

¹ El Grupo Técnico (GT) de Gestión de cuencas “Ríos Limpios” de Amazonas es quien decide llevar a cabo el “Proyecto ríos Limpios” dentro del cual está contemplado este estudio hidrobiológico.

durante la vigilancia o monitoreo de la calidad del agua (Segnini, 2003). Aparte de los costos, el principal problema de los análisis químicos es que presentan información transitoria perteneciente a cortos periodos de tiempo, no permitiendo conocer los efectos de la frecuencia de la contaminación (Neumann *et al.*, 2003).

Se planteó una evaluación en la estación húmeda (diciembre-mayo) y otra en estación seca (junio- noviembre), para conocer primeramente si la variación temporal tiene efectos significativos sobre el ensamblaje de la comunidad bentónica y qué tanto pueden influir sobre el análisis e interpretación de los resultados. A este respecto, es conocido que en latitudes tropicales la estacionalidad de las lluvias es la principal variable temporal (Minetti & Poblete, 2003) que influye sobre el ensamblaje de la comunidad de macroinvertebrados (Resh *et al.*, 1988).

El principal aporte de esta investigación es que constituye uno de los primeros estudios con macroinvertebrados bentónicos vinculados a la bioindicación en zonas agrícolas en el Perú. Adicionalmente, los métodos estadísticos aplicados, la integración de los análisis de estructura comunitaria y medidas bioindicadoras² en la parte metodológica, constituyen un avance importante en los estudios del ensamblaje de la comunidad del bentos y su aplicabilidad en evaluaciones ambientales.

² Medida bioindicadora: También llamada métrica por su traducción literal del inglés *metric*. Según Acosta (2009), es un valor que mide una característica de la comunidad que responde a una perturbación de interés. Pueden medir riqueza, composición, sensibilidad, abundancia, etc.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El departamento de Amazonas y el río Utcubamba

El departamento de Amazonas se encuentra al norte del Perú, ocupando un área de 39 249,13 km² y está dividida en siete provincias y 84 distritos. Tomando en consideración características como el relieve, drenaje de las aguas y orientación general, puede dividirse al departamento en dos sectores: el sector Andino, que ocupa el 27% del territorio y está confinado al extremo sudeste; y el sector de Selva Alta, que ocupa el 73% del territorio (Garayar *et al.*, 2005).

En Amazonas se encuentran nueve cuencas hidrográficas, siendo la del Utcubamba la cuarta más grande en extensión con 663 316,96 km² (MINAM, 2009; APECO, 2009). El río Utcubamba nace en el distrito de Leimebamba (6°42'15"LS/ 77°48'45"LO), dirigiéndose en sentido S-N (Sur-Norte) hasta llegar al cañón del Utcubamba para luego tomar la dirección SE-NO (Sudeste-Nordeste) y ampliarse en la parte baja del valle (460-800 m de altitud) hasta su desembocadura en el río Marañón. Esta parte baja del valle del Utcubamba es la zona más productiva y donde se concentran la mayoría de centros poblados del departamento (Garayar *et al.*, 2005).

Según el Decreto Supremo 017- 2009-AG - Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, el área de estudio presenta tierras para cultivo en limpio³ de clase media con limitaciones por suelo (A2s), aproximadamente desde Bagua Grande

³ Cultivo en limpio: Según el Decreto Supremo 017- 2009-AG, un cultivo en limpio es aquel que requiere la remoción periódica y continuada del suelo.

hasta el pongo de Rentema; y tierras de protección y para pastos de clase baja con limitaciones por clima (X-F3c), más al sudeste de Bagua Grande hasta la zona de Jamalca (MINAM, 2009). A pesar de existir tal zonificación, la gran expansión de la actividad agrícola ha llevado a que tierras destinadas a protección, como las áreas ribereñas, hayan sido ocupadas por cultivos.

El área de estudio comprende dos zonas de vida según la clasificación de Holdridge. La primera, monte espinoso tropical (mte-T), se extiende desde aproximadamente 20 km al sudeste de Bagua Grande hasta el Pongo de Rentema; las precipitaciones aquí son bajas (162,9-793,0 mm/año) perteneciendo a la provincia de humedad árida. La segunda, bosque muy seco tropical (bms-T), se extiende desde el sudeste del área anterior hasta la zona de Jamalca; las precipitaciones son ligeramente mayores que en la parte más baja del valle (567-1019 mm/año) perteneciendo a la provincia de humedad semiárida (ONERN, 1976). El departamento de Amazonas es una de las pocas zonas del Perú donde el clima de selva tropical tiene como límites un clima seco (Garayar *et al.*, 2005).

Geológicamente, los suelos de la cuenca baja del Utcubamba pertenecen al Cretáceo y son de origen continental sedimentario, mientras que desde Bagua Grande hasta el pongo de Rentema los suelos son más jóvenes y pertenecen al Terciario (INGEMET, 1975). Según la ONERN (1976), los suelos de la zona de vida monte espinoso tropical son de naturaleza calcárea, con pH alrededor de 8, poco contenido de materia orgánica y de colores oscuros principalmente; similar naturaleza presentan los suelos de la zona de vida bosque muy seco tropical que también son de naturaleza calcárea, aunque éstos presentan una disminución de su espesor en aquellos terrenos de topografía accidentada.

La cobertura vegetal en toda el área evaluada de la cuenca baja, estaba reducida a un estrecho margen de vegetación ribereña (1-10 m) en las partes más llanas, y una vegetación nativa más o menos densa en las zonas colinosas. En ambos casos se apreciaron varios tipos de árboles, una vegetación arbustiva menos desarrollada y una vegetación herbácea representada por más de un tipo de poáceas, entre ellas la caña brava. En medio de las grandes extensiones de cultivo era posible observar estrechas franjas de árboles y cocoteros que se encontraban entre los límites de las parcelas de los agricultores.

2.2. La actividad agrícola y los ecosistemas acuáticos

La agricultura es una de las principales actividades económicas de Amazonas. En el año 2008 ocupó el segundo lugar en importancia en aporte al Producto Bruto Interno (PBI) regional, con una participación estimada de 981 millones de nuevos soles (41% del PBI regional) (ProInversión, 2010). Según la misma fuente, para el año 2006, el sector agrícola ocupaba un 68,7% de la PEA (Población Económicamente Activa).

La mayor parte del área agrícola del departamento está ocupada por cultivos de arroz, los cuales al mes de mayo del 2009 alcanzaron 14 816 Ha (43% de la superficie cosechada) con una producción de 107 737 TM (35% de la producción agrícola) (ProInversión, 2010). Los agricultores aquí asentados, según el tamaño de las unidades agropecuarias (UA), practican principalmente el minifundio (UA menores de 3,0 ha) y la pequeña agricultura (UA de 3,0 a 9,9 ha) (Gobierno Regional de Amazonas, 2009).

La principal limitante para el desarrollo de la actividad agrícola es el acceso al recurso agua. Según la FAO (1993), la agricultura es de lejos la actividad que consume el mayor volumen de agua dulce disponible, otorgándole un bajo costo, y como consecuencia de esto un uso poco eficiente. También esta actividad genera impactos sobre la calidad del agua principalmente por el uso de agroquímicos (pesticidas y fertilizantes).

Los agroquímicos presentan niveles de toxicidad que generan efectos nocivos en la salud humana y en la de los organismos expuestos a estas sustancias, tanto en los terrenos de cultivo como en los cuerpos de agua. Es conocido su papel como perturbadores endocrinos⁴ (*endocrine disrupter*) en los seres humanos y la vida silvestre causando profundos efectos en sus poblaciones (Mohammad *et al.*, 2005), sin embargo es difícil conocer el costo en salud que generan debido a la inespecificidad del efecto patológico y al tiempo de latencia transcurrido entre exposición y la manifestación de los síntomas (Fernández & Olea, 2006). Un estudio señala que la exposición de las madres embarazadas a estos compuestos hace posible que los acumulen en sus organismos y los transmitan a su descendencia durante la lactancia y embarazo (Granada, 2006).

En cuanto a los fertilizantes químicos, éstos son responsables de la eutrofización más aun si van acompañados de los desperdicios de la actividad ganadera, aunque esto último se hace más evidente en ambientes lénticos. Los ecosistemas acuáticos continentales en general (ríos, lagos o embalses) sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen con nutrientes, siendo los fosfatos y nitratos los que más influyen en este proceso. Es así que

⁴ Perturbadores endocrinos: Sustancias químicas exógenas al organismo que interfieren de diversas formas en el funcionamiento adecuado de los sistemas endocrinos (Granada, 2006).

en la mayoría de los lagos de agua dulce el factor limitante⁵ en la productividad es el fósforo (Rivas *et al.*, 2009).

El estudio de la FAO (1997) “Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos” destaca algunos casos de la contribución de la agricultura a la eutrofización; por ejemplo se afirma que en Estados Unidos la agricultura es la fuente principal de deterioro de los ríos y lagos del país, mientras que en Europa dicha actividad es la responsable del 17% de la carga de fósforo total en sus aguas continentales. Schulz (2004) hace una revisión bastante extensa de los estudios de campo sobre exposición, efectos y mitigación de riesgos de la contaminación por pesticidas, encontrando que aun en los países desarrollados no hay una base de datos referida a la contaminación por pesticidas empleados como aerosol, lo que supone que se entiende muy poco de cómo los ambientes acuáticos están respondiendo al ingreso de estos componentes.

2.3. Los macroinvertebrados como indicadores de impacto agrícola

Los macroinvertebrados bentónicos son una agrupación de organismos carentes de notocorda que habitan en el fondo de los ecosistemas acuáticos continentales, en al menos alguna etapa de su ciclo de vida, y de tamaño mayor o igual a 500 μm (Hauer & Resh, 1996). Esta comunidad dulceacuícola está formada principalmente por estadios inmaduros de insectos, aunque también pueden encontrarse algunos taxa en estadios adultos; otros grupos menos representativos son ácaros, crustáceos, moluscos, nemátodos, planarias, lombrices y sanguijuelas.

⁵ Factor limitante: En este caso se refiere a un nutriente particular (el fósforo) que limita la productividad primaria del ecosistema acuático.

Se afirma que un organismo es un indicador de calidad de agua cuando éste se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte un hábitat (Roldan, 2003). Alba-Tercedor (1996) va más allá del concepto anterior y sugiere emplear más bien el término comunidad indicadora entendiéndola como aquella que permite conocer a través de diferentes y múltiples métodos e índices comunitarios la calidad del cuerpo de agua evaluado.

El uso de los macroinvertebrados para la evaluación de la calidad del agua de ecosistemas acuáticos presenta importantes ventajas. Rosenberg & Resh (1993) mencionan algunas de ellas: (1) son ubicuos, es decir que se encuentran en muchos hábitats acuáticos; (2) el gran número de especies exhiben un rango de respuestas a estrés ambiental; (3) su naturaleza sedentaria permite determinar espacialmente las perturbaciones; y (4) tienen ciclos de vida relativamente largos que permite apreciar cambios en la estructura de la comunidad. Aparte de ello se tiene la ventaja de que la taxonomía, en general, es bien conocida a nivel de familia y género (Prat *et al.*, 2009) y esto facilita la implementación de índices bióticos y otros tipos de análisis. Estas particularidades la hacen una herramienta alternativa y de bajo costo para actividades de monitoreo en los ecosistemas acuáticos

Históricamente, a fines de la década del 70 se empieza a revalorizar el uso de indicadores biológicos en la vigilancia de la calidad del agua (Segnini, 2003), a partir de ese momento se han convertido en complemento ideal de las evaluaciones fisicoquímicas, cuyas limitaciones eran cada vez más evidentes. En Sudamérica, su uso en evaluaciones de calidad de agua ha tomado fuerza recién a partir de la década del 90, empleándose

principalmente para evaluar el efecto de la contaminación orgánica en centros urbanos (Roldán, 1997; Zúñiga *et al.*, 1993; Jacobsen, 1998; Roldán, 1999; Callisto *et al.*, 2001; Figueroa *et al.*, 2003; Gutiérrez *et al.*, 2004; Lozano, 2005). También se han desarrollado otras investigaciones relacionadas a los efectos de la contaminación por actividad minera (Guerrero & Lloyd, 1992; Oller & Goitia, 2005; Van Damme *et al.*, 2008) y por actividades agrícolas y/o ganaderas (Leiva, 2004; Hepp & Santos, 2009; Hepp *et al.*, 2010).

Sobre el caso puntual de estudios relacionados con impactos generados en ecosistemas acuáticos por actividad agrícola existen importantes antecedentes. Lenat & Crawford (1994) en ríos del piedemonte en Carolina del Norte (Estados Unidos) evaluaron la riqueza de especies, índices bióticos y especies únicas de invertebrados para conocer el efecto de los usos de la tierra (forestal, agrícola, urbano) sobre la integridad del ecosistema, resultando que las áreas sometidas a la agricultura mostraban un estrés moderado manifestado en altos valores de abundancia de macroinvertebrados que indicaban enriquecimiento de materia orgánica, siendo Chironomidae el grupo representativo. Sin embargo, Davis *et al.* (2003) utilizando medidas bioindicadoras como %EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Thichoptera) y porcentajes de otros taxa, solo detectaron ligeras diferencias entre zonas referenciales y zonas impactadas por agricultura en un río cerca a la costa en Georgia (Estados Unidos), y sugieren que en posteriores estudios se preste más atención a la variabilidad natural de los ambientes acuáticos ya que estos pueden sobreponerse a los impactos producidos por actividad humana. Song (2009), en tributarios del río Garonne en el sur de Francia, analiza los cambios que produce la actividad agrícola en la riqueza y diversidad de los EPTC (Ephemeroptera, Plecoptera, Thichoptera y Coleoptera), concluyendo que los lugares donde hay agricultura presentan una integridad biológica menor a los lugares boscosos y

sugiere una restauración del ambiente alterado, considerando las áreas boscosas como referenciales.

En Sudamérica también se han desarrollado estudios para determinar, a través del uso de macroinvertebrados, impactos producidos por la agricultura. En Brasil, Egler (2002) evaluó la degradación de dos ríos ubicados en un área agrícola en el Estado de Río de Janeiro; la principal variable a estudiar era el efecto de los pesticidas en la comunidad de macroinvertebrados comparando áreas boscosas, deforestadas y de cultivos. Mediante análisis químicos no se detectó la presencia de pesticidas en ningún punto, pero la disminución en la riqueza, principalmente, y abundancia de macroinvertebrados permitieron identificar a los ríos en las zonas de cultivo como los más afectados. Un estudio similar, exactamente en áreas de cultivo de arroz, fue desarrollado por Molozzi *et al.* (2007) donde comparan cómo son afectados los macroinvertebrados según el tipo de cultivo. En ambos casos encontraron que Chironomidae fue muy abundante y los organismos EPT estuvieron escasamente representados o ausentes, siendo mayores estos efectos en la zona donde el cultivo permanecía inundado todo el tiempo. Baumart *et al.* (2007) utilizaron a los macroinvertebrados para evaluar los efectos del Carbofurán en cultivos de arroz; para ello se valieron de estudios experimentales, donde se pudieron evidenciar algunos macroinvertebrados representativos para el ambiente control (sensibles) como Odontoceridae (Trichoptera) y Trichoceridae (Diptera), y para el ambiente impactado (tolerantes) como Coenagrionidae (Odonata) e Hydrophilidae (Coleoptera). Hepp *et al.*, (2010) analizaron cómo se ve afectada la comunidad de macroinvertebrados cuando está afectada por asentamientos urbanos y por la agricultura, encontrando que la zona agrícola se destacó por sus altas densidades de

macroinvertebrados resultantes del excesivo ingreso de nutrientes por la escorrentía y sedimentos por la erosión.

En el Perú, no se conocen estudios publicados que relacionen las prácticas agrícolas y su impacto sobre los cuerpos de agua. El estudio más cercano fue desarrollado por Palm (2007) evaluando las condiciones de diferentes cuerpos de agua (arroyos, canales e inclusive aguas subterráneas) del departamento de San Martín ubicados en un área extensa de cultivo de arroz donde se hace un uso indiscriminado y poco responsable de pesticidas, encontrando residuos de pesticidas en todos los cuerpos de agua evaluados en niveles perjudiciales para la salud.

3. OBJETIVOS

General

- Evaluar la degradación de los ambientes acuáticos en la cuenca baja del río Utcubamba mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos.

Específicos

- Determinar el estado de conservación de los ecosistemas acuáticos y el estado de la calidad del agua en las estaciones de muestreo evaluadas.
- Analizar los cambios en la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos a escala temporal y entre estaciones de muestreo.
- Analizar las respuestas de las medidas bioindicadoras y su relación con las perturbaciones antrópicas desarrolladas en el área de estudio.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la cuenca baja del río Utcubamba. Se encuentra ubicada entre 340 y 630 m de altitud, ocupando las provincias de Bagua y Utcubamba en el departamento de Amazonas (Figura 1). El único acceso al área de estudio está dado por la carretera Fernando Belaunde Terry, que se sitúa paralela al curso bajo del río Utcubamba, en el tramo correspondiente a las ciudades de Pedro Ruiz Gallo y Bagua. A ambos lados del río se extienden amplios campos de arroz, que cubren casi la totalidad del valle. En esta cuenca el tipo de agua predominante es el agua clara, sólo mostrándose turbia en el tramo más bajo, próximo a su confluencia con el Marañón, y en la época lluviosa; en ambos casos por la gran cantidad de sedimentos arrastrados.

La zona presenta dos estaciones bien marcadas, la seca y lluviosa, las cuales se diferencian notablemente por los cambios en el volumen de agua transportada por el río Utcubamba y sus tributarios, mas no tanto así por las lluvias. Las precipitaciones en toda la cuenca baja del Utcubamba son escasas, mostrando en todos los meses un déficit hídrico que se ve compensado por los excedentes hídricos de las partes más altas, los cuales permiten el desarrollo de la próspera actividad agrícola. De acuerdo al sistema de Thornthwaite, el clima es definido como seco-cálido, tanto por las bajas precipitaciones como por las altas temperaturas, cuyo promedio anual es de 26,3°C (Vargas, 2010)

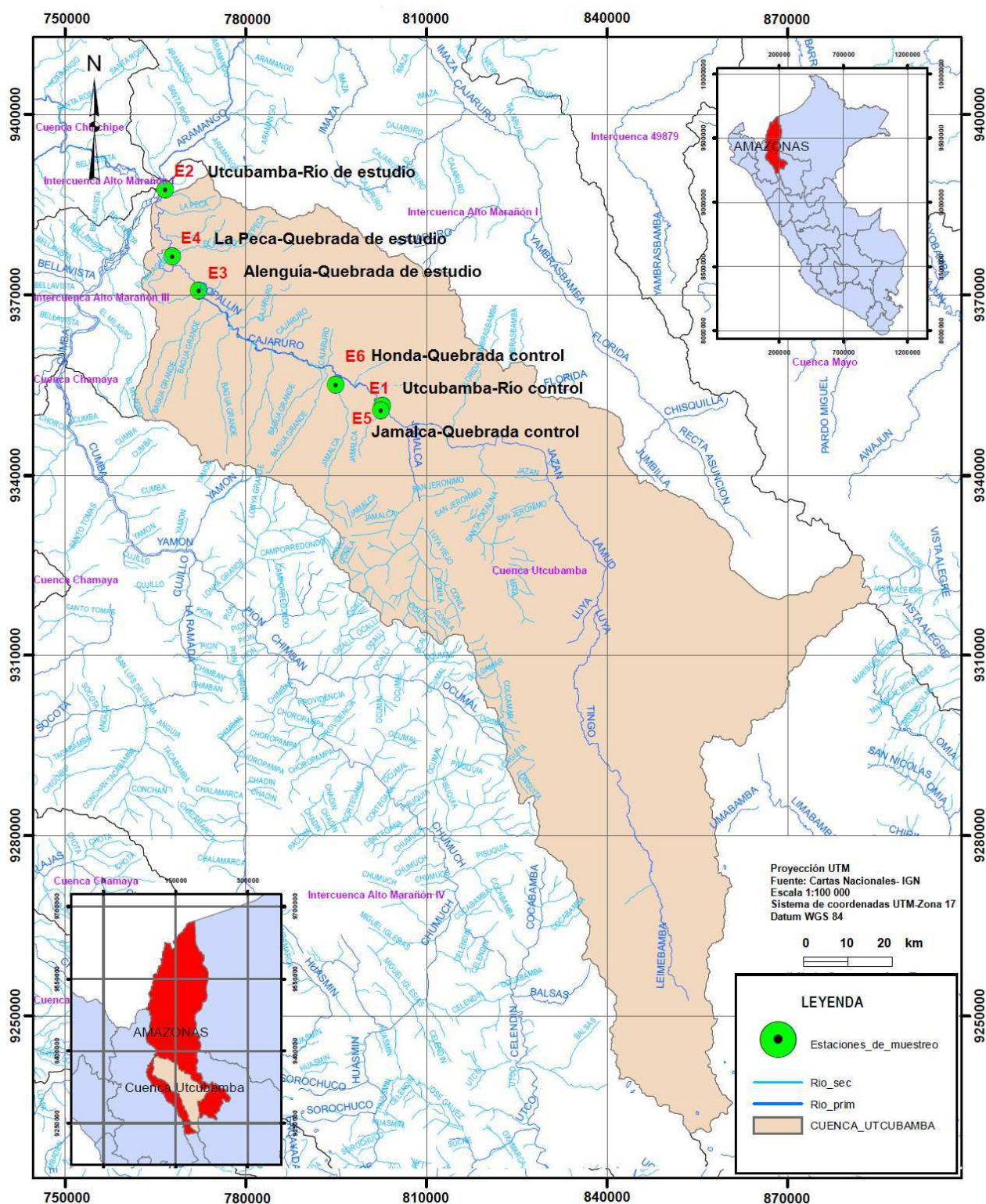


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del Utcubamba (Amazonas-Perú) y sus respectivas estaciones de muestreo en su parte baja.

4.2. Diseño de estudio

Se definieron seis estaciones de muestreo ubicadas a lo largo del valle arrocero, las cuales fueron georreferenciadas según el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) (Datum WGS 84, Zona 17 Sur). Dos (2) estaciones estuvieron ubicadas en el mismo río Utcubamba, una en la parte alta (E1), y otra en la parte baja (E2); las cuatro (4) restantes se ubicaron en sus tributarios, dos en el margen derecho, quebrada Alenguia (E3) y quebrada La Peca (E4), y dos en el margen izquierdo, quebrada Jamalca (E5) y quebrada Honda (E6). El tramo de estudio correspondiente a la parte baja de la cuenca se extendió en un trayecto de aproximadamente 60 km. (Figura 1). El estudio contempló un análisis comparativo de 3 estaciones control frente a otras 3 estaciones de estudio, éstas últimas consideradas impactadas o afectadas en algún grado por la actividad agrícola del área (Tabla 1).

Tabla 1. Ubicación y descripción de las estaciones de muestreo en la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú).

Estación	Nombre de río o quebrada	Tipificación	Altitud (m de altitud)	Coordenadas UTM
E1	Utcubamba	Río control	552	17M0807131-9351881
E2	Utcubamba	Río de estudio	340	17M0771352-9388191
E3	Alenguía	Quebrada de estudio	404	17M0776901-9371308
E4	La Peca	Quebrada de estudio	426	17M0772406-9377206
E5	Jamalca	Quebrada control	630	17M0806786-9351192
E6	Honda*	Quebrada control	511	17M0799386-9355478

(*) Quebrada no muestreada en la época húmeda por dificultades en el acceso.

Dado que el área presenta una fuerte actividad agrícola desde hace muchos años, lo que hacía difícil encontrar ambientes prístinos en la zona, se ubicaron los puntos control en cuerpos de agua con poca influencia agrícola inmediata. Por otro lado las estaciones de

estudio fueron cuerpos de agua donde el cultivo de arroz se encontraba en sus riberas o a escasos metros.

Cabe precisar también que información presentada en esta investigación forma parte del “Proyecto ríos limpios”, ejecutado por APECO (Asociación Peruana para la Conservación de la Naturaleza) para el Gobierno regional de Amazonas, y se cuenta desde un inicio con la autorización del caso para la publicación de los resultados y así satisfacer los fines de la presente tesis.

4.3. Periodo de muestreo

El periodo de muestreo se dividió en dos etapas, determinadas a partir del conocimiento del calendario de lluvias. La primera, correspondiente a la época húmeda (diciembre-mayo), se desarrolló los días 9 y 10 de febrero del año 2009; la segunda, correspondiente a la época seca (junio-noviembre), se desarrolló los días 31 de agosto y 1 de setiembre de 2009.

4.4. Caracterización ambiental

Se evaluaron las condiciones ambientales para conocer el estado de conservación de los ecosistemas evaluados a partir de la caracterización de su hidrología e integridad ambiental. Las medidas hidrológicas consideradas fueron velocidad de corriente, transparencia, tipo de agua, profundidad, longitud y ancho de la zona donde se realizó el muestreo. El tipo de agua se caracterizó en base a la clasificación de Sioli (1984) que distingue tres tipos de agua para nuestros ríos amazónicos: agua clara, agua blanca y

agua negra. La integridad ambiental fue desarrollada según el protocolo “RCE” (*Riparian, Channel and Environmental Inventory*) (Petersen, 1992), el cual se detalla en el Anexo 1.

4.5. Caracterización de calidad del agua.

Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y plaguicidas contenidos en el agua para conocer su calidad. Los parámetros fisicoquímicos tales como temperatura ambiental, temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos fueron medidos *in situ*; en el caso de sulfatos, nitratos y fosfatos, los análisis se desarrollaron en laboratorio según los protocolos de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Universidad de San Marcos (USAQ-UNMSM). Los parámetros microbiológicos (coliformes totales y fecales) fueron medidos en laboratorio según el protocolo seguido por DIGESA-Bagua. Los plaguicidas contenidos en el agua (organoclorados y organofosforados) también fueron medidos en laboratorio según el método de referencia EPA 8270-D. Tanto los parámetros microbiológicos como los plaguicidas, sólo fueron medidos en época seca. Se consideró que en la época seca los plaguicidas disueltos en agua se encontrarían menos disueltos y sería más probable encontrar traza de ellos.

4.6. Colecta de macroinvertebrados bentónicos

Para la colecta de la macrofauna bentónicos se utilizó una red Surber de 30 x 30 cm (0,09 m²) con luz de malla de 200 µm siguiendo el protocolo *Monitoring wilderness stream ecosystems* (Davis *et al.*, 2001). Se eligieron preferentemente hábitats con sustrato pedregoso que presenten canto rodado (64-256 mm de diámetro) (Wentworth, 1922) los

cuales fueron removidos vigorosamente hasta lavar completamente el área a muestrear (0,09 m²). Durante la época húmeda solo se pudieron obtener dos repeticiones en cada estación de muestreo por las limitaciones en el acceso derivadas del elevado caudal en los cuerpos de agua estudiados, lo que constituyó un riesgo bastante alto; ya en la época seca se obtuvieron tres repeticiones en cada punto evaluado de acuerdo al diseño planeado inicialmente. Las muestras colectadas fueron almacenadas en bolsas plásticas, etiquetadas y fijadas con etanol al 80% para la posterior separación e identificación de los organismos hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

La separación del material biológico, conteo de organismos e identificación de la macrofauna bentónica se realizó en el Laboratorio de Ecología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) con ayuda de un microscopio estereoscópico, con un aumento de hasta 40 veces. La identificación taxonómica se hizo hasta el menor nivel taxonómico posible en base a claves taxonómicas especializadas de Merrit & Cummins (1996), Wiggins (1996), Roldán (1996), Fernández & Domínguez (2001), Domínguez *et al.* (2006) y Falcão (2006). En los análisis estadísticos se utilizó el sistema de Unidades Taxonómicas Operacionales (UTO's) que consideró a cada organismo identificado como un taxa distinto.

4.7. Análisis de datos

4.7.1. Análisis univariados

Se calcularon la riqueza de especies (N) y la abundancia de especies (S), ésta última expresada como densidad en las comparaciones estadísticas. Para determinar la existencia de diferencias significativas a escala temporal y entre estaciones de muestreo, se compararon la riqueza de especies (N) y la abundancia de especies (S) mediante pruebas no paramétricas como sugieren Wantzen & Rueda-Delgado (2009). Para determinar diferencias significativas a escala temporal se utilizó la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney ($p < 0,05$), agrupándose los datos en dos grupos (época húmeda-época seca). Para determinar diferencias significativas entre estaciones de muestreo en la época seca se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$), agrupándose los datos en seis grupos (seis estaciones de muestreo). Adicionalmente un análisis de barras de error permitió describir la variación de la riqueza y abundancia entre estaciones de muestreo. Estos análisis se realizaron con el software estadístico SPSS 14.00.

4.7.2. Análisis multivariados

Para determinar la existencia de diferencias significativas en la comunidad a escala temporal y entre estaciones de muestreo se realizó el análisis de similitud (ANOSIM) ($p < 0,05$), el cual fue complementado con la comparación de los porcentajes de similitud (SIMPER). Al conocer la existencia de diferencias significativas a nivel temporal, se consideró proseguir con los análisis comunitarios considerando solo la época seca, por presentar una entomofauna más diversa y no estar afectada por el gran incremento del

caudal del río que desorganiza la comunidad bentónica asentada en el lecho del río. Para conocer la estructura comunitaria se utilizó el índice de similitud de Bray & Curtis con datos de abundancia transformados ($\log(x+1)$) y para observar gráficamente dicha similitud entre estaciones de muestreo se utilizó el Análisis de Agrupamiento (Cluster) por el método de asociación media (UPGMA) que fue complementado con el análisis de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS). Estos análisis se realizaron mediante la utilización del software Primer 6 (Clarke & Gorley, 2005).

4.7.3. Medidas bioindicadoras.

Para estimar la calidad del agua se utilizaron medidas de composición y riqueza conjuntamente con índices bióticos. Las medidas de composición y riqueza incluyen EPTC taxa, Riqueza EPT, %EPT, EPT/Chironomidae, %Chironomidae, Baetidae/Ephemeroptera, Leptophlebiidae/Ephemeroptera, Equidad de Pielou (J') y Diversidad de Shannon-Wiener (H') de acuerdo al criterio empleado por Egler (2002). Los índices bióticos empleados fueron el BMWP/Col (Roldán, 2003) y el índice biótico de familia (Hilsenoff, 1988). Siguiendo el criterio sobre la temporalidad de las lluvias, estos análisis se restringieron a la época seca.

4.7.4. Relación entre variables bióticas y abióticas

Para conocer la relación entre las variables fisicoquímicas y las variables bióticas (riqueza y abundancia) se empleó la correlación no paramétrica de Spearman. Este análisis se realizó con información procedente de la época seca empleando el software estadístico SPSS 14.00.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterización de las estaciones de muestreo

Estación de muestreo E-01

Río control. Correspondió al tramo superior del río Utcubamba (552 m de altitud), anterior a los cultivos de arroz. Se encontró en la zona denominada El Salao (17M0807131-9351881). Se caracterizó por tener una vegetación enteramente arbustiva en el margen derecho y una gran área desprovista de vegetación en el margen izquierdo, próxima a la carretera. Tanto en la época húmeda como en la seca, el área adyacente al margen izquierdo del río estuvo afectada por obras civiles, situación que se agudizó en la época seca cuando se pudo constatar *in situ* desviaciones del cauce principal para el reforzamiento de los muros de contención (gaviones) como mecanismo para mitigar la erosión hídrica.



Figura 2. Río Utcubamba, aguas arriba (E-01). Localidad El Salao, cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).

Estación de muestreo E-02

Río de estudio. Correspondió al tramo más bajo del río Utcubamba, a 340 m de altitud. Se encontró en una zona cercana al centro poblado de Rentema (17M0771352-9388191), prácticamente cerca al pongo del mismo nombre, a aproximadamente 500 m de distancia de la confluencia de los ríos Utcubamba y Marañón. La vegetación se caracterizó por ser arbórea-arbustiva, constituyendo una franja no muy ancha en ambos márgenes. En la época seca, con la disminución del caudal, el margen derecho quedó descubierto. Esta situación permitió el ingreso de maquinarias para la extracción de agregados para construcción como piedras medianas, piedras pequeñas y arena. Estas perturbaciones atentan contra la estabilidad del sustrato, erosionan las riberas y tienen implicancias en las relaciones tróficas del ecosistema acuático.



Figura 3. Río Utcubamba aguas abajo (E-02). Localidad Rentema, cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).

Estación de muestreo E-03.

Quebrada de estudio. Correspondió a la zona llamada Alenguía (17M0776901-9371308) a 404 m de altitud. Ésta quebrada cruzaba una amplia zona dominada por arrozales en toda su extensión. Los cambios en su caudal fueron notorios como en los casos anteriores, pero en razón de sus reducidas dimensiones en la época seca, solo se pudo apreciar áreas demasiado someras y estrechas de corriente prácticamente nula. La cobertura herbácea-arbustiva fue bastante estrecha ya que estuvo sometida a la perturbación de la intensa actividad agrícola desarrollada a escasos metros de ambos márgenes.



Figura 4. Quebrada Alenguía (E-03). Cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).

Estación de muestreo E-04

Quebrada de estudio. Localidad de La Peca (17M0772406-9377206), provincia de Bagua, a 426 m de altitud. Atraviesa una zona urbana y por tanto recibe efluentes tanto de la actividad agrícola como los propios efluentes domésticos de la población, situación que pudo ser constatada en ambos periodos de estudio. En el trecho estudiado pudieron observarse vías de acceso al río bastante firmes en medio de una importante cobertura vegetal, la cual estuvo conformada principalmente por arbustos y árboles. Estas vía de acceso permitían a los pobladores descender al río para desarrollar actividades como el bañarse, lavar sus prendas o incluso pescar.



Figura 5. Quebrada La Peca (E-04). Cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).

Estación de muestreo E-05

Quebrada control. Se encuentra en las afueras de Jamalca (17M0806786-9351192) a 630 m de altitud. Presentaba una ligera pendiente que permitía una sucesión espacial de mesohábitats similar a la de las partes medias-altas de los ríos. En la época húmeda la cobertura vegetal (arbórea-arbustiva) se presentó amplia y más o menos densa en ambos márgenes, sin embargo en la época seca, aparte de la esperada disminución de caudal y de cobertura vegetal, todo el margen derecho fue removido por maquinaria pesada y como consecuencia el terreno presento gran inestabilidad en ambos márgenes. Se pudo evidenciar la presencia de bivalvos fósiles como evidencia de la magnitud de la remoción del terreno.



Figura 6. Quebrada Jamalca (E-05). Cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).

Estación de muestreo E-06

Quebrada control. Conocida como quebrada Honda (17M0799386-9355478), en virtud de su morfología bastante semejante a ríos en tramos altos aunque solo se encuentra a 511 m de altitud. Aquí solo se desarrolló la colecta correspondiente a la época seca. Si bien es cierto en su parte más alta se mostraba una densa cobertura vegetal a ambos lados, en la parte más baja presentaba un terreno de cultivo que ya había sido cosechado (margen izquierda) y remoción del terreno (margen derecha) aparentemente para obras de infraestructura. La sucesión espacial en el río (hábitats de rápidos y pozas) fue bastante notoria con una destacable estabilidad del sustrato pedregoso allí presente.



Figura 7. Quebrada Honda (E-06). Cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú), épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).

5.2. Caracterización ambiental

Medidas hidrológicas

A nivel de todas las estaciones de muestreo se apreciaron notables cambios entre época húmeda y seca, especialmente en la velocidad de la corriente, el ancho y profundidad de los ríos. Los cambios a nivel de transparencia fueron bastante notables entre época húmeda y seca, siendo en la primera nula en casi todas las estaciones. Los cambios en el calendario de lluvias son los que generan las diferencias observadas entre ambos periodos. Los resultados encontrados están resumidos en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Medidas hidrológicas en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época húmeda, febrero 2009.

ÉPOCA HÚMEDA	Estaciones control		Estaciones de estudio		
	E1	E5	E2	E3	E4
Localidad	El Salao	Jamalca	Rentema	Alenguía	La Peca
Corriente	rápida	rápida	rápida	leve	moderada
Transparencia (cm)	nula	nula	nula	nula	40
Tipo de agua	blanca	blanca	blanca	blanca	clara
Profundidad (m)	2	0,6	10	0,5	0,5
Ancho (m)	30	10	80	12	10

Tabla 3. Medidas hidrológicas en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009.

ÉPOCA SECA	Estaciones control			Estaciones de estudio		
	E1	E5	E6	E2	E3	E4
Localidad	El Salao	Jamalca	Honda	Rentema	Alenguía	La Peca
Corriente	moderada	lenta	moderada	moderada	muy lenta	muy lenta
Transparencia (cm)	10	nula	total	10	total	total
Tipo de agua	blanca	blanca	clara	blanca	clara	clara
Profundidad (m)	0,8	0,3	0,5	2	0,2	0,4
Ancho (m)	20	5	7	60	5	6

Índice de integridad ambiental de los ríos

En el periodo húmedo la integridad ambiental fue notablemente mayor a lo observado en periodo seco debido al desarrollo y estabilidad de la vegetación ribereña. Se hace una comparación cualitativa entre las estaciones control y de estudio en ambos periodos de evaluación, encontrándose que los mayores valores de integridad ambiental pertenecen a las estaciones control. Los menores valores correspondieron a las estaciones de estudio E2 y E3, cuya degradación pudo también estar amplificadas por el impacto antrópico directo observado en el periodo seco (Tabla 4).

Tabla 4. Índice de integridad ambiental en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).

	Estaciones control			Estaciones de estudio		
ÉPOCA HÚMEDA	E1	E5	E6	E2	E3	E4
TOTAL	295	295	-	272	158	246
CLASE	I	I	-	II	III	II
INTEGRIDAD	Excelente	Excelente	-	Muy buena	Buena	Muy buena
ÉPOCA SECA	E1	E5	E6	E2	E3	E4
TOTAL	186	247	291	83	86	202
CLASE	III	II	II	V	IV	III
INTEGRIDAD	Buena	Muy buena	Muy buena	Pobre	Regular	Buena

5.3. Caracterización de calidad del agua

Se apreciaron cambios importantes entre ambas épocas en parámetros como pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, nitratos y fosfatos. En la época húmeda el pH presenta valores ligeramente mayores (>9.3) al igual que los nitratos, mientras que en la época seca la conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y fosfatos presentan los valores más altos. Es interesante apreciar los valores de fosfatos y nitratos en ambas

épocas, ya que en ambos casos los fosfatos presentaron valores más altos, lo que estaría indicando un enriquecimiento de nutrientes en el área de estudio (Tablas 5 y 6).

Se puede observar que existen valores bastante altos de coliformes totales y fecales en la mayoría de estaciones evaluadas (E1, E2, E3 y E5). Las estaciones E6 (estación control) y E4 (estación de estudio) son las menos afectadas, siendo E6 la que presenta evidencia casi nula de coliformes totales y fecales (Tabla 6).

No se llegó a determinar cantidades cuantificables de ninguno de los pesticidas evaluados (organoclorados y organofosforados) en alguna de las estaciones de colecta (Tabla 6). Los límites de cuantificación según el método de referencia están entre 3 y 0,2 µg/L .

Tabla 5. Parámetros de calidad de agua en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época húmeda, febrero 2009.

ÉPOCA HÚMEDA	Estaciones control		Estaciones de estudio		
	E1	E5	E2	E3	E4
Temperatura del agua (°C)	19,4	23,8	20,5	23,5	25,6
Temperatura del ambiente (°C)	25	25,3	23,5	30,2	25,5
Oxígeno disuelto (mg/l)	7,88	6,86	7,5	-	-
Oxígeno disuelto (%)	91,6	87,5	90,3	88,8	88
pH	10,1	10,46	9,88	9,3	9,6
Conductividad (uS)	255	355	282	352	440
Sólidos totales disueltos (ppm)	126	327	141	276	223
Sulfatos (ppm)	463,5	517	452	484,5	485,5
Nitratos (ppm)	0,045	0,041	0,032	0,012	0,021
Fosfatos (ppm)	0,184	0,053	0,067	0,107	0,110

Tabla 6. Parámetros de calidad de agua en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009.

ÉPOCA SECA	Estaciones control			Estaciones de estudio		
	E1	E5	E6	E2	E3	E4
Temperatura del agua (°C)	19,2	25,2	23	25,1	31,9	28,5
Temperatura del ambiente (°C)	23	30	34	34	36	30
Oxígeno disuelto (mg/l)	10,7	8,31	6,7	7,08	5,3	8,14
Oxígeno disuelto (%)	115	103,5	79	85,5	72	105
pH	8,58	8,43	8,68	8,47	8,08	8,41
Conductividad (uS)	270	2780	270	310	1020	610
Sólidos totales disueltos (ppm)	200	1940	190	220	700	430
Sulfatos (ppm)	344	690	446	354	660	426
Nitratos (ppm)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fosfatos (ppm)	0,211	0,167	0,147	0,135	0,146	0,146
Coliformes totales (NMP/100 mL)	240000	390000	6,8	49000	240000	3300
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	170000	240000	4	49000	68000	3300
Pesticidas (µg/L)	-	-	-	-	-	-

5.4. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

Se colectaron un total de 24 746 individuos durante ambos periodos (seco y húmedo) y en las seis estaciones de muestreo evaluadas. Se identificaron 90 taxa (UTO's), de los cuales 60 fueron identificados a nivel de género, tres a nivel de subfamilia, 21 a nivel de familia, dos a nivel de orden, tres a nivel de subcohorte y uno a nivel de clase (Anexos 2 y 3).

Época húmeda

En esta época se colectaron un total de 698 individuos distribuidos en 29 taxa. Los mayores valores de riqueza, abundancia y densidad correspondieron a la estación E4, mientras que en el resto de estaciones éstos fueron menores, siendo E1 la que presentó los valores más bajos (Tabla 7). Sin duda existe una subestimación en los valores de riqueza y abundancia de esta época, pues se contó con menos réplicas y una estación de muestreo menos que en el periodo seco.

Época seca

En esta época se colectaron un total de 24058 individuos distribuidos en 88 taxa. La estación de muestreo E6 presentó los mayores valores de riqueza, mientras que E3 los menores valores. Los mayores valores de abundancia y densidad correspondieron a la estación E3, mientras que los más bajos estuvieron representados en E2 (Tabla 7).

Tabla 7. Valores de riqueza, abundancia y densidad en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009)

MEDIDA	ÉPOCA	Estaciones control			Estaciones de estudio			TOTAL
		E1	E5	E6	E2	E3	E4	
Riqueza (N)	Húmeda	3	7	-	7	6	19	29
	Seca	40	31	52	41	18	32	88
Abundancia (S)	Húmeda	11	66	-	20	14	587	698
	Seca	2500	3121	6539	776	6900	4222	24058
Densidad (ind/m ²)	Húmeda	61	367	-	111	78	3261	776
	Seca	9259	11559	24219	2874	25556	15637	14851

5.4.1. Composición

Época húmeda

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo representada principalmente por la clase Hexapoda (89,66%). A nivel de órdenes, los más representativos fueron Ephemeroptera, Diptera, Coleoptera y Trichoptera que conforman el 86,20% del total de taxa encontrados (Tabla 8).

Época seca

Al igual que la época anterior, la comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo mayoritariamente representada por la clase Hexapoda (88,64%). Se presentó una macrofauna más diversificada con respecto a la anterior época, aunque la predominancia de los órdenes Ephemeroptera, Diptera, Coleoptera y Trichoptera continuó siendo mayor (72,73%) con respecto a los otros taxa (Tabla 8).

Tabla 8. Número de taxa colectados en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).

TAXA	ÉPOCA HÚMEDA		ÉPOCA SECA	
	NÚMERO DE TAXA	PORCENTAJE (%)	NÚMERO DE TAXA	PORCENTAJE (%)
CLASE HEXAPODA	26	89,66	78	88,64
EPHEMEROPTERA	9	31,03	22	25,00
DIPTERA	7	24,14	16	18,18
COLEOPTERA	6	20,69	15	17,05
TRICHOPTERA	3	10,34	11	12,50
HEMIPTERA	1	3,45	3	3,41
ODONATA			7	7,95
PLECOPTERA			1	1,14
MEGALOPTERA			1	1,14
LEPIDOPTERA			1	1,14
COLEMBOLA			1	1,14
CLASE GASTEROPODA	1	3,45	5	5,68
CLASE BIVALVIA	1	3,45	1	1,14
CLASE ACARI	1	3,45	2	2,27
CLASE OLIGOCHAETA			1	1,14
CLASE HIRUDINEA			1	1,14
TOTAL	29	100	88	100

5.4.2. Abundancia

Época húmeda

La abundancia fue bastante baja con solo 698 individuos, más allá de haberse muestreado en 5 estaciones. Esta abundancia está representada principalmente por la clase Hexapoda, correspondiéndole el 98,71% de la totalidad de individuos contabilizados (Tabla 9). A diferencia de la composición, la abundancia estuvo concentrada en un número menor de taxa, Diptera y Ephemeroptera, los que constituyen 94,7% del total (Tabla 9).

Época seca

Durante la época seca los valores de abundancia fueron notablemente mayores contabilizando un total de 24058 individuos. Esta abundancia está representada principalmente por la clase Hexapoda, correspondiéndole el 99,66% de la totalidad de individuos contabilizados (Tabla 9). Al igual que la época húmeda, los órdenes Diptera y Ephemeroptera concentran a la mayor cantidad de individuos contabilizados (94.93%) (Tabla 9).

Tabla 9. Número de individuos colectados en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Épocas húmeda (febrero, 2009) y seca (setiembre, 2009).

	ÉPOCA HÚMEDA		ÉPOCA SECA	
TAXA	NÚMERO DE INDIVIDUOS	PORCENTAJE (%)	NÚMERO DE INDIVIDUOS	PORCENTAJE (%)
CLASE HEXAPODA	689	98,71	23975	99,66
EPHEMEROPTERA	183	26,22	8405	34,94
DIPTERA	478	68,48	14432	59,99
COLEOPTERA	14	2,01	520	2,16
TRICHOPTERA	13	1,86	493	2,05
HEMIPTERA	1	0,14	39	0,16
ODONATA			36	0,15
PLECOPTERA			37	0,15
MEGALOPTERA			8	0,03
LEPIDOPTERA			4	0,02
COLEMBOLA			1	0,00
CLASE GASTEROPODA	1	0,14	6	0,02
CLASE BIVALVIA	3	0,43	6	0,02
CLASE ACARI	5	0,72	59	0,25
CLASE OLIGOCHAETA			11	0,05
CLASE HIRUDINEA			1	0,00
TOTAL	698	100,00	24058	100,00

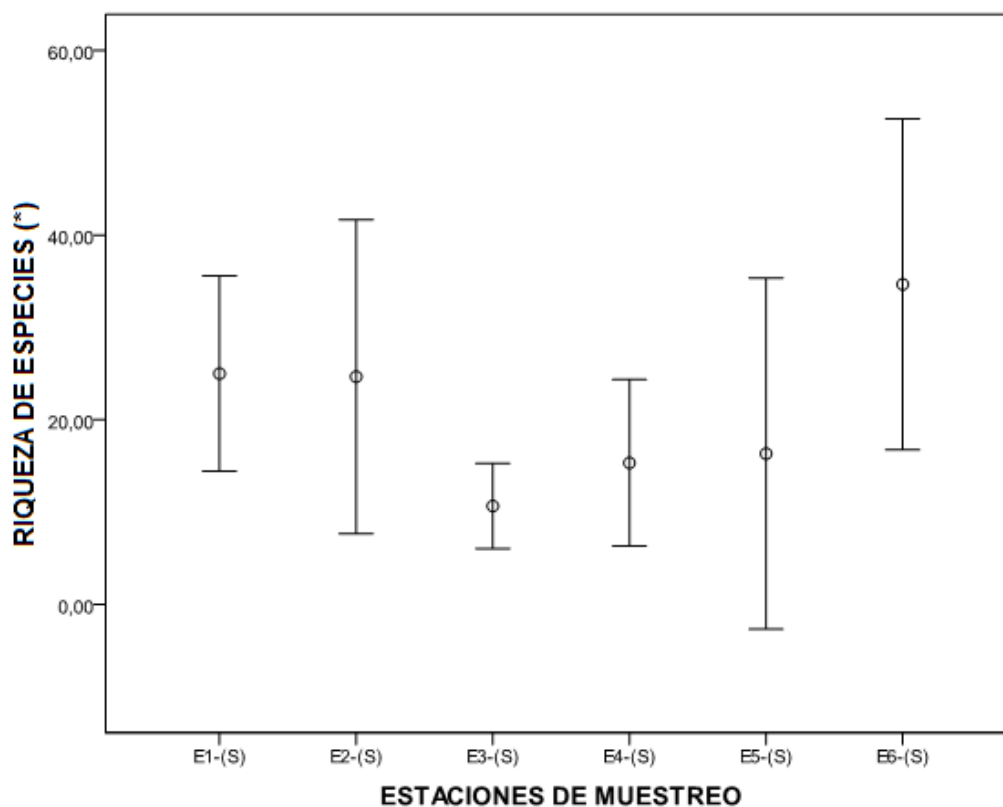
5.5. Análisis de datos

5.5.1. Análisis univariados

Riqueza de especies

Según la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney se encontró que existen diferencias significativas entre las dos épocas analizadas ($p=0,00016$). Según la prueba de Kruskal-

Wallis, se encontró que no existen diferencias significativas ($p=0,05036$) entre las estaciones de muestreo evaluadas durante la época seca. El diagrama de barras de error permitió describir la variación de la riqueza entre estaciones de muestreo encontrando diferencias entre E3-(S) y E6-(S) (Figura 8).

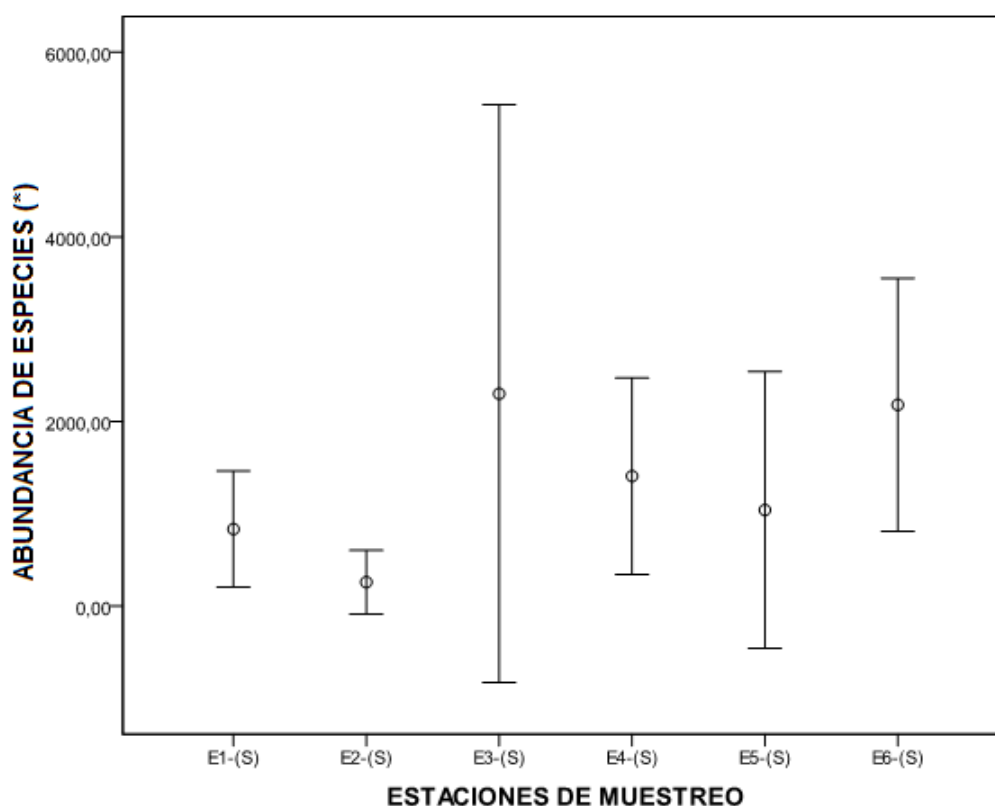


(*) Cada barra de error representa una región conformada por la media de la riqueza (punto) en cada caso \pm dos veces su desviación estándar (línea vertical),

Figura 8. Variación de la riqueza entre las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009.

Abundancia de especies

Según la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney se encontró que existen diferencias significativas entre los dos periodos analizados ($p=0,00003$) (Tabla 20). Según la prueba de Kruskal-Wallis se encontró que existen diferencias significativas ($p=0,04715$) entre las estaciones de muestreo evaluadas durante la época seca (Tabla 20). Al igual que lo acontecido con la riqueza, se recurrió a las barras de error para conocer la variación de la abundancia entre estaciones de muestreo encontrándose diferencias entre E2-(S) y E6-(S) (Figura 9).



(*) Cada barra de error representa una región conformada por la media de la abundancia (punto) en cada caso \pm dos veces su desviación estándar (línea vertical),

Figura 9. Variación de la abundancia entre las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009.

5.5.2. Análisis multivariados

Se analizó la variación temporal y entre estaciones de muestreo de la comunidad con la información de estructura comunitaria (Anexos 2 y 3). Según el análisis de similitud (ANOSIM) se encontraron que existen diferencias significativas a nivel temporal ($p=0,002$), con una separación media ($R=68,5\%$); y también a nivel de estaciones de muestreo ($p=0,001$), con una gran separación que evidencia grupos bastante diferenciados ($R= 82,2\%$). Estos resultados pueden ser corroborados con comparaciones SIMPER que muestran una disimilitud de 93,22 % a escala temporal y disimilitudes mayores a 53,46% entre estaciones de muestreo (Anexos 6 y 7). El análisis SIMPER también muestra similitudes internas de las estaciones de muestreo superiores a 49,24%, indicando que hubo una homogeneidad media a alta en las réplicas (Anexo 8).

Según los análisis de agrupamiento (Cluster) y de ordenamiento no paramétrico (nMDS) desarrollados para la época seca, se forman 2 grupos notables que mostraron similitudes sobre el 45% entre ellos. El grupo A, conformado por las estaciones control E1-(S), E6-(S) y la estación de estudio E2-(S); y el grupo B, conformado por las estaciones de estudio E3-(S), E4-(S) y la estación control E5-(S). En ambos grupos se combinan las estaciones control y las estaciones de estudio, lo cual indica que el agrupamiento de los macroinvertebrados bentónicos no correspondió exactamente con la diferenciación preestablecida de las estaciones de muestreo en el diseño de estudio. La representatividad del ordenamiento está definida por el valor de estrés, que en este caso es calificada como excelente (2D *Stress* = 0,01) (Figuras 10 y 11).

Las estaciones de muestreo pertenecientes al grupo A presentan géneros de Ephemeroptera como taxa más representativos, mientras que en el grupo B se hace más notable el aporte de los diferentes taxa de Chironomidae en la conformación de la estructura comunitaria; lo cual expresado en términos de tolerancia frente a las perturbaciones, definiría al grupo A como el más sensible y al grupo B como el más tolerante (Anexo 8).

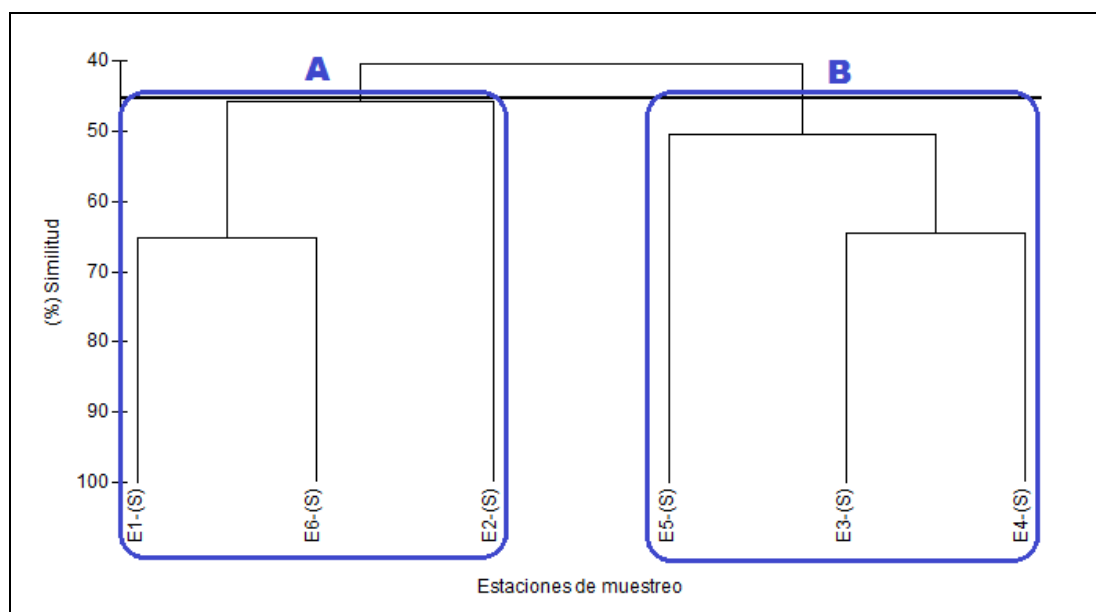


Figura 10. Dendrograma de similitud entre las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009.

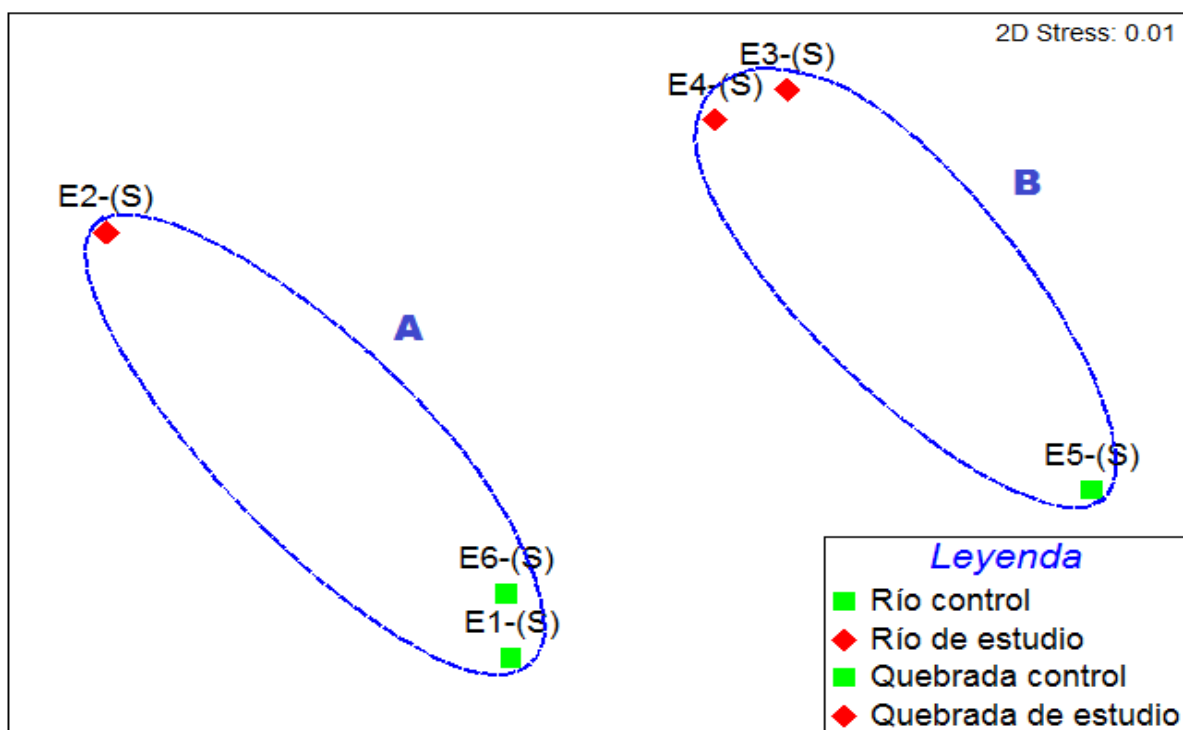


Figura 11. Ordenamiento no paramétrico nMDS entre las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009.

5.5.3. Medidas bioindicadoras

5.5.3.1. Medidas de composición y riqueza

Se presentan medidas de composición (EPTC taxa y Riqueza EPT) y de riqueza (%EPT, EPT/Chironomidae, %Chironomidae, etc.) como medidas bioindicadoras. Las estaciones de muestreo E1-(S), E2-(S) y E6-(S) destacan con los valores más altos de todas las medidas analizadas, excepto % Chironomidae, que es un indicador de ambientes degradados cuando se encuentra en porcentajes bastante altos; por tanto, pueden calificarse a estas tres estaciones de muestreo como las más conservadas. Por otro lado, E3-(S), E4-(S) y E5-(S) se presentan como las estaciones menos conservadas al

presentar los menores valores de las medidas analizadas, exceptuando % Chironominae donde presenta los mayores porcentajes. Estos resultados se corresponden con lo analizado anteriormente a nivel de estructura comunitaria al separar dos grupos notablemente diferenciados, y también con lo presentado por la variación de la riqueza de especies que define a E6-(S) como muy diferente a E3-(S) (Figuras 10 y 11). Otro aspecto notable es que E1-(S) y E2-(S) son prácticamente iguales en las medidas EPTC taxa y Riqueza EPT, lo cual puede ser un indicador que la composición de la comunidad en el río principal no se ve alterada por las perturbaciones observadas (Tabla 10).

Tabla 10. Medidas de composición y riqueza en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009.

MEDIDAS DE COMPOSICIÓN Y RIQUEZA	E1-(S)	E2-(S)	E3-(S)	E4-(S)	E5-(S)	E6-(S)
EPTC taxa	25	25	10	17	14	31
Riqueza EPT	19	19	7	14	9	22
% EPT	64,9	83,1	1,77	46,9	2,63	68,6
EPT/Chironomidae	2,47	11,5	0,02	0,91	0,03	2,75
% Chironomidae	26,3	7,22	97,3	51,7	81,9	24,9
Baetidae/Ephemeroptera	0,51	0,52	0,03	0,01	0,71	0,58
Leptophlebiidae/Ephemeroptera	0,21	0,04	0	0,04	0	0,14
Equidad de Pielou (J')	0,617	0,739	0,344	0,425	0,468	0,618
Diversidad de Shannon-Wiener (H')	3,282	3,957	1,433	2,123	2,318	3,522

5.5.3.2. Índices bióticos

Biological Monitoring Working Party (BMWP'/Col.)

Según los resultados del BMWP/Col. se evidencia una correspondencia con lo encontrado en los análisis de estructura comunitaria. En primer lugar, se aprecia que todas las estaciones de muestreo presentan calidad de agua de buena a aceptable, siendo sólo E3-(S) la única que presenta la menor calidad observada (aceptable). Los resultados son un

tanto semejantes con los revisados en el punto anterior, aunque aquí podrían separarse 3 grupos. E1-(S), E2-(S) y E6-(S) presentan los valores más altos para este índice, valores intermedios son presentados por E4-(S) y E5-(S), y finalmente, E3-(S) presenta el valor más bajo (Tabla 11).

Tabla 11. Valores de BMWP'/Col., clase y calidad del agua en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009.

ESTACIÓN	BMWP'	CLASE	CALIDAD
E1-(S)	146	I	Buena
E2-(S)	135	I	Buena
E3-(S)	69	II	Aceptable
E4-(S)	117	I	Buena
E5-(S)	116	I	Buena
E6-(S)	185	I	Buena

Índice biótico de familia (IBF)

Este índice ha sido bastante empleado en estudios de calidad de agua en Chile, especialmente en la zona sur (Arenas, 1995; Leiva, 2004; Figueroa *et al.*, 2003, 2007). Los resultados permiten agrupar a los ambientes evaluados en dos conglomerados. El primero corresponde a las estaciones E1-(S), E2-(S), E4-(S) y E6-(S) que presenta valores de buena calidad de agua; mientras que el otro grupo reúne a las estaciones E3-(S) y E5-(S) con valores moderados de calidad de agua. Al igual que lo observado con el índice anterior, la estación de muestreo E3-(S) se presenta como la más perturbada (Tabla 12).

Tabla 12. Valores de IBF y calidad del agua en las estaciones de muestreo de la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú). Época seca, setiembre 2009

ESTACIÓN	IBF	CALIDAD
E1-(S)	4,71	Buena
E2-(S)	4,62	Buena
E3-(S)	5,96	Moderada
E4-(S)	5,04	Buena
E5-(S)	5,84	Moderada
E6-(S)	4,83	Buena

5.5.4. RELACIÓN ENTRE LOS FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS

De acuerdo a los resultados de la correlación no paramétrica de Spearman, se evidenció una correlación entre los valores de riqueza y pH ($R=0,954$) con un nivel de significancia de 99%. Las demás variables no demostraron correlaciones significativas entre ellas (Anexo 9)

6. DISCUSIÓN

En la presente investigación hidrobiológica, se planteó evaluar la degradación a la que están expuestos los ambientes acuáticos en la cuenca baja de un río de la vertiente del Atlántico, intentando presentar una aproximación de lo que puede encontrarse en un área de similares características de altitud y patrón de uso de la tierra en el lado oriental de los Andes peruanos. El problema fue abordado teniendo en cuenta tres aspectos: (1) las características ambientales de las estaciones de muestreo considerando la hidrología, la integridad del lecho del río y el uso actual de la tierra en el área ribereña, como escenario de estudio; (2) las características de calidad de agua de las estaciones de muestreo, como estimador de las condiciones físicas, químicas y biológicas de los ambientes

acuáticos en el momento puntual de la evaluación; y (3) las características de comunidad de macroinvertebrados, como estimador de los diversos eventos de perturbación acumulados, asociados a las actividades que se desarrollan en el área de estudio.

Características ambientales

Analizando el componente ambiental puede destacarse que la hidrología del río a nivel temporal refleja algo que es común a todos los ríos que nacen en los andes: cambios en el caudal asociados al régimen pluvial en la zona altoandina, con sus niveles máximos en la época húmeda, cuyos efectos llegan hasta las partes más bajas (Tablas 2 y 3). En general, cuando se registran altas precipitaciones, los mayores caudales del río arrastran el sustrato del lecho y reducen o desplazan la biota presente (Lake, 2000). Por otro lado la integridad ambiental mediante el índice RCE no solo permite notar cambios a nivel temporal, donde se aprecia un mejor estado de conservación en la época húmeda como consecuencia de un mejor desarrollo de la vegetación ribereña, sino que también permite notar los primeros signos de diferenciación entre las estaciones de muestreo, los que se hacen más evidentes en la época seca, donde las estaciones E6 y E5 presentan las mejores condiciones frente a E2 y E3 que se muestran como las menos conservadas (Tabla 4). Si bien es cierto que el RCE es un indicador que inicialmente se creó para países de clima templado, también ha sido empleado en evaluaciones desarrolladas en países del Neotrópico, como Brasil (Buss *et al.* 2004; Mugnai *et al.* 2008; Roque *et al.*, 2008); otra forma de evaluar la integridad ambiental es presentada por Acosta *et al.* (2009) para los Andes peruanos y ecuatorianos a través del IHF (Índice de hábitat fluvial) y QBR-And (Índice de la calidad de vegetación de ribera andina). Las principales interacciones de este índice y otros similares que evalúan la integridad ambiental, tienen

que ver con el ciclo de los nutrientes entre el ambiente acuático y terrestre, y el papel de amortiguamiento que cumple la vegetación ribereña frente a diversas acciones naturales y antrópicas principalmente (Waggoner, 2006).

Características de calidad del agua

Analizando el componente de calidad del agua desde un punto de vista ambiental y de sanidad, puede notarse que según los Estándares Nacionales para Calidad Ambiental para Agua (DS 002-2008 MINAM) para la categoría 3 (riego de vegetales y bebidas de animales) los cuerpos de agua evaluados sobrepasan el estándar en cuatro parámetros: pH, sulfatos, coliformes totales y coliformes fecales (también llamados coliformes termotolerantes) (Tablas 5 y 6). Los valores de pH son básicos, lo que estaría explicado por la geología del área de estudio donde predominan suelos de naturaleza calcárea con pH mayores a 8 (ONERN, 1976). Sobre los sulfatos es conocido que son la forma del azufre más abundante a pH superiores a 8 (Roldan, 1992), aunque su origen es principalmente natural donde se encuentran frecuentemente en concentraciones más altas (OMS, 2006); en esto directamente tiene que ver la geología del lecho del río como lo sugiere Molina *et al.* (2008) o también un ingreso adicional de sulfatos del suelo por escorrentía superficial desde tierras agrícolas habilitadas por roza y quema. Entre los coliformes totales y fecales, son los coliformes fecales los que mejor reflejan la presencia de contaminación fecal por parte de las poblaciones (Campos, 2003); problemas por este tipo de contaminación en el agua ya han traído problemas sanitarios en el país como la epidemia de cólera a principios de los 90's. Los coliformes fecales son altos en todas las estaciones, excepto en E6; los valores bastante altos presentados en la mayoría de estaciones de muestreo muy probablemente sean consecuencia directa de las descargas

de los efluentes de las actividades de los agricultores. Muchos de los parámetros fisicoquímicos pueden integrarse junto a algunos índices bióticos para algas y macroinvertebrados para obtener un índice, como el IEL (Índice de Estado Limnológico) ya utilizado en Colombia por Pinilla *et al.* (2010). Sobre la correlación del pH con la riqueza existen diversos estudios (Turnbull *et al.*, 1995; Kullberg, 2003; Tripole *et al.*, 2008), todos ellos señalan una relación directa de disminución de riqueza a medida que el agua se acidifique más, evaluando la respuesta de los macroinvertebrados a rangos entre 4-8 pH; en este caso las variaciones de pH en la estación seca fueron mínimas como para asegurar una fehaciente correlación de pH y riqueza más aún cuando existen otras variables importantes como oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos y coliformes en general.

Características de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

Analizando el componente de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, que a la misma vez se muestra como la parte más compleja y extensa en resultados, puede notarse en primer lugar diferencias significativas a nivel temporal en la riqueza ($p=0,00016$), abundancia ($p=0,00003$) y estructura comunitaria ($p=0,00200$). Resultados similares en cuanto a diferencias significativas en número de especies e individuos a nivel temporal fueron observados por Jacobsen & Encalada (1998). Esta variabilidad responde a lo ya observado en el componente físico-ambiental, que se corresponde con lo planteado por Resh & Jackson (1993) cuando define que los macroinvertebrados no solo pueden detectar polución sino también son buenos indicadores de cambios en el hábitat tanto en calidad como cantidad, en este caso asociados al arrastre generado por un mayor caudal en la cuenca en época húmeda. Cambios en la comunidad de macroinvertebrados en el Neotrópico debido a la variabilidad temporal han sido bastante

documentados (Molina *et al.*, 2008; Mesa *et al.*, 2009; Mesa, 2010; Moya *et al.*, 2009). Una vez restado el efecto de la temporalidad, la principal causa de variabilidad natural, el estudio se restringió a identificar la degradación de los ambientes acuáticos entre estaciones de muestreo durante la época seca teniendo en cuenta lo propuesto en la idea inicial del diseño de estudio: las estaciones consideradas control formarían un grupo aparte de las estaciones de estudio, y de esta forma se probaría la efectividad de la comunidad de macroinvertebrados para detectar diferencias no percibidas por los anteriores análisis.

Los análisis de agrupamiento y ordenamiento mostraron 2 grupos bien definidos con similitudes superiores al 45%, los cuales no se correspondieron totalmente con los grupos preestablecidos en el diseño de estudio (Figuras 10 y 11). La principal razón puede sustentarse en las diferentes respuestas de cada estación de muestreo en particular frente a las perturbaciones más allá de su apariencia inicial. Por ejemplo la estación control E5 (quebrada Jamalca) se presentó relativamente lejana de los cultivos y con una importante cobertura ribereña en su margen derecha, sin embargo las perturbaciones evidenciadas en el margen izquierdo, remoción del suelo por tractores, pudieron haber afectado la comunidad bentónica en gran medida; en contraste la estación de estudio E2 (río Utcubamba aguas abajo), que se suponía más afectada por todas las perturbaciones acumuladas aguas arriba, mostró una importante resiliencia, dado quizás por el gran volumen de agua transportado y la amplitud de su canal que permite una mayor estabilidad del lecho. Por otro lado, las medidas bioindicadoras (Tablas 10, 11 y 12) jerarquizaron a las estaciones de muestreo respondiendo al criterio de calidad del agua y de esta forma se adoptó un reagrupamiento considerando los anteriores análisis: E6 (estación mejor conservada); E1 y E2 (estaciones medianamente conservadas); E4 y E5

(estaciones ligeramente conservadas) y E3 (estación menos conservada). De todas las estaciones, la única estación de muestreo que podría considerarse referencial es E6 por características puntuales como un mayor área de vegetación ribereña, apreciable sucesión de pozas y rápidos, y adecuada estabilidad del sustrato con casi nula presencia de sedimento fino sobre el sustrato asemejándose con ríos pocos perturbados de partes más altas; no obstante en la parte más cercana de la carretera ya se estaban empezando a realizar actividades con maquinaria pesada que podrían comprometer la integridad de este ecosistema, y por otro lado la actividad agrícola a pesar de no situarse a más de 100 metros del cauce del río parece no comprometer el hábitat acuático probablemente por el amortiguamiento de la apreciable vegetación ribereña. Las estaciones E1 y E2 (ambas ubicadas en el río Marañón) si bien es cierto que se presentan como medianamente conservadas, evidenciaron actividades antrópicas que se realizaban en su lecho disminuido, las cuales constituyeron una externalidad no contemplada en el diseño inicial del estudio; la asociación de ambas estaciones puede explicarse quizás en que las externalidades no son lo suficientemente fuertes para afectar la resiliencia del río Marañón, el cual es de un orden hidrológico mayor a las quebradas y presenta una mayor capacidad de dilución y arrastre de cualquier contaminante, o también a las adaptaciones de las mismas poblaciones de macroinvertebrados frente a eventos de perturbación (Townsend & Hildrew, 1994). El resto de estaciones (E3, E4 y E5) presentan un estado de conservación inferior, siendo la estación E3 la que presenta las condiciones más desfavorables pese a que fue tipificada como un ambiente de calidad de agua aceptable según el índice BMWP'/Col y moderado por el índice IBF (Tablas 11 y 12).

Un alcance adicional del análisis SIMPER fue que permitió conocer qué grupos son los más representativos en cada estación de muestreo (Anexo 9). Efemerópteros de los

géneros *Baetodes* y *Leptohyphes* fueron los más representativos en las estaciones mejor conservadas (E6 y E1), mientras que *Tricorythodes* logró mayor importancia en estaciones con estado de conservación intermedio (E2 y E4); resultados similares fueron encontrados por Siegloch (2006) donde destaca a estos géneros como indicadores de ambientes con cobertura vegetal media y con gran disponibilidad de microhábitats, no obstante en este estudio y en el de Pinheiro de Souza (2006) se coincide con que *Tricorythodes* está asociado a sustratos de hojarasca, contrario a lo que se observó en este estudio, que fue desarrollado enteramente en sustratos pedregosos. Una explicación a este hecho puede estar referida a que se traten de especies diferentes que corresponden a los mismos géneros, lo cual refleja la importancia de incidir en un mayor desarrollo de la taxonomía de la entomofauna acuática nativa y su uso en la bioindicación. Por otro lado la dominancia de quironómidos, estuvo expresada en las estaciones E5 y E3 las cuales califican como las menos conservadas.

Algo que también llamó la atención fue el alto número de taxa encontrados en este estudio (90 en total), correspondiendo la mayor parte de esta riqueza (88 taxa) a la época seca (Tabla 7 y Anexo 2). Este resultado puede estar asociado a una variable de orden físico, pues de acuerdo a Bispo *et al.* (2001), en los periodos secos un ambiente más estable proporciona una mejor estructura de la comunidad. Analizando este aspecto desde la variable altitudinal, puede constatarlo lo que Jacobsen (2003) encontró en ríos de Ecuador: la mayor riqueza de macroinvertebrados estaba en las zonas bajas (400 m de altitud). En cuanto a los índices bióticos tanto el BMWP'/Col como el IBF muestran una misma gradiente que va desde E6 como la estación más conservada hasta E3 como la menos conservada. Si bien es cierto que el IBF ha sido creado para zonas templadas al menos en esta evaluación presenta respuestas muy similares a las del BMWP'/Col. No

estaría de más usar ambos índices bióticos en futuras evaluaciones hasta encontrar las modificaciones más pertinentes para nuestros ecosistema acuáticos, aunque para esto se necesita un mayor conocimiento de nuestra macrofauna bentónica. Estudios anteriores desarrollados en la cuenca del río Rímac (Paredes *et al.*, 2004; Arana, 2008) y en ríos de Cajamarca y Amazonas (Paredes *et al.*, 2005), han encontrado respuestas satisfactorias en el uso del BMWP/Col; en tanto en el uso del IBF sólo fue empleado con poco éxito en el mencionado trabajo de Arana (2008). Otra importante contribución a la bioindicación en el país se encuentra en Acosta *et al.* (2009), quienes proponen para ecosistemas altoandinos de Perú y Ecuador el índice biótico ABI (*Andean Biotic Index*) junto a los protocolos ya mencionados de hábitat fluvial (IHF) y de vegetación de riberas (QBR-And) para el estudio de la calidad ecológica de los ríos. El éxito del BMWP/Col puede atribuirse a que tanto Colombia como Perú presentan ambientes andinos y amazónicos, y sus ecosistemas acuáticos comparten muchas similitudes de orden hidrológico, altitudinal y latitudinal.

En cuanto a las externalidades, como ya se ha visto, la principal estuvo relacionada con los recientes trabajos de desarrollo de infraestructura que involucraban remoción del lecho de los ríos disminuidos en su época de menor caudal, lo que sin lugar a dudas enriqueció los elementos para la discusión y demostró que los principales problemas con respecto a actividades antrópicas relacionadas a la agricultura en el Utcubamba no estaban en la introducción de residuos de agroquímicos o efluentes domésticos, pues pareció que el río tuvo la capacidad de arrastre suficiente para evitar la permanencia de cualquier contaminante en concentraciones detectables, salvo los coliformes. Los impactos ambientales más fuertes por tanto, parecen tener su origen en el cambio del patrón de uso de la tierra y la desprotección de las riberas.

Finalmente queda afirmar que, si bien es cierto el uso de macroinvertebrados bentónicos fue un elemento bastante integrador para responder a la incógnita de nuestro estudio, la evaluación de la calidad de un ecosistema debe tener una dimensión holística que no solo incluya el aspecto ecológico sino también que responda a las necesidades de la población en el aspecto político, ético y de sanidad pública (Callisto *et al.*, 2001).

7. CONCLUSIONES

Se identificaron diferentes grados de degradación en los ambientes acuáticos de la cuenca baja del río Utcubamba a partir del análisis de estructura comunitaria del macrobentos y las diferentes medidas bioindicadoras de calidad de agua.

La estación de muestreo E6 (quebrada Honda) presentó el mejor estado de conservación en el área de estudio (RCE: muy buena; %EPT: 68,6; H': 3,52; BMWP/Col.: Buena; IBF: Buena), mientras que E3 (quebrada Alenguía) fue la menos conservada (RCE: regular; %EPT: 1,77; H': 1,43; BMWP/Col.: Aceptable; IBF: moderada).

Los cambios más notables en la composición y estructura comunitaria estuvieron explicados principalmente por la variabilidad temporal, mientras que las diferencias entre estaciones de muestreo estuvieron explicadas por los diferentes niveles de perturbación antrópica en los ambientes evaluados.

Se resalta la validez de los índices bióticos BMWP/Col. e IBF para determinar la calidad de agua en la zona estudiada permitiendo también jerarquizar a las estaciones de estudio según su nivel de conservación.

La importante riqueza encontrada en la cuenca baja del Utcubamba (90 taxa) denota su resiliencia frente a la perturbación, especialmente en el lecho del río principal, y constituye un importante antecedente en el conocimiento de la macrofauna bentónica amazónica.

8. RECOMENDACIONES

Ampliar los estudios de diagnóstico de calidad de agua de los ambientes acuáticos del país teniendo en cuenta el avance de diversas actividades productivas y los impactos ambientales que estas provocarán.

Identificar ecosistemas acuáticos de referencia para las diversas zonas de vida existentes en el país teniendo en cuenta su aplicación como herramientas de línea base en estudios ambientales.

Aplicar políticas que ordenen la actividad agrícola minifundista en cuanto al uso de la tierra y el agua para afectar lo menos posible su cantidad y calidad y limitar el uso de agroquímicos con la asistencia de profesionales calificados.

Realizar mayores estudios respecto a la taxonomía y el grado de respuesta frente a eventos de contaminación de los géneros *Baetodes*, *Leptohyphes* y *Tricorythodes* tanto en ambientes naturales como a nivel de ensayos ecotoxicológicos.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, R., B. RÍOS, M. RIERADEVALL & N. PRAT. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (C.E.R.A.) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*. 2009, vol. 28, 1, p. 35-64
- ALBA-TERCEDOR, J. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Almería*, 1996, vol 2, p. 203-213.
- APECO. *Plan estratégico regional del recurso hídrico de Amazonas*. Baras, P. (Ed.), Amazonas, 2009, 72 p.
- ARANA, J. "Caracterización ecológica del río Santa Eulalia, Lima (Perú) mediante el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos". Asesora: Iris Samanez. Tesis para optar el Título de Biólogo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2008.
- ARENAS, J. N. Composición y distribución del macrozoobentos del curso principal del río Biobío, Chile. *Medio Ambiente*. 1995, vol. 12, 2, p. 39-50.
- BAUMART, J. S. ; B. L. ZIMMERMANN ; M. M. DALOSTO; J. B. REIMCHE; S. L. O. MACHADO; E. MARCHEZAN; L. A. AVILA & S. SANTOS. Efeito de uma formulação comercial do inseticida Carbofuran sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos presentes em lavoura de arroz irrigado. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2007, Pelotas. Anais do V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2007. v. 2. p. 431-433.
- BISPO, P. C., L. G. OLIVEIRA, V. L. CRISCI, & M. M. SILVA. A pluviosidade como fator de alteração da entomofauna bentônica (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em

córregos do Planalto central do Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 2001, vol. 13, 2, p.1-9.

- BUSS, D.F., D.F. BAPTISTA, J.L. NESSIMIAN & M. EGLER. Substrate specificity, environmental degradation and disturbance structuring macroinvertebrate assemblages in Neotropical streams. *Hydrobiologia*. 2004, vol. 518, p. 179-188.
- CALLISTO, M.; M. MORETTI & M. GOULART. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Revta. Bras. Rec. Hid.* 2001, Vol. 6, 1, p. 71-82.
- CAMPOS C. Indicadores de contaminación fecal en aguas. En: *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*: RYDA-CYTED / CIRA-UAMEX, Toluca, México. 2003, p. 224-229.
- CLARKE, K.R. & R.N. GORLEY. *PRIMER v.6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E Ltda., Plymouth, UK. 2005.
- DAVIS, J. C.; G. W. MINSHALL; C. T. ROBINSON & P. LANDRES. *Monitoring wilderness stream ecosystems*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-70. Ogden, UT: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2001. 137 p.
- DAVIS, S.; S.W. GOLLADAY; G. VELLIDIS & C.M. PRINGLE. Macroinvertebrate biomonitoring in intermittent coastal plain streams impacted by animal agriculture. *Journal of Environmental Quality*. 2003, vol. 32, 3, p. 1036-1043.
- DOMINGUEZ, E.; C. MOLINERI; M. L. PESCADOR; M. D. HUBBARD & C. NIETO. Ephemeroptera of South America. In: Adis, J., J. R. Arias, G. Rueda-Delgado & K. M.

Wantzen (eds), *Aquatic Biodiversity of Latin America* (ABLA), Vol. 2, Pensoft, Moscow and Sofia. 2006. 646 p.

- EGLER, M. “Utilizando a Comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos na Avaliação da Degradação de Ecossistemas de Rios em Áreas Agrícolas”. Orientadores: Josino Costa Moreira & Darcílio Fernandes Baptista. Dissertação de Mestrado, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.
- FALCÃO, F. “A ordem Ephemeroptera no Brasil (Hexapoda): Taxonomia e diversidade”. Tesis doctoral. Universidade Federal de Viçosa, M. G., Brasil, 2006.
- FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. 1993. [Citado 12-01-2011] Disponible en <<http://www.fao.org/docrep/003/t0800s/t0800s09.htm>>.
- FAO. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. 1997. [Citado 12-01-2011] Disponible en <<http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s00.htm#Contents>>.
- FAO. Agricultura y diálogo de culturas. 2005. [Citado 12-01-2011] Disponible en <<http://www.fao.org/docrep/008/a0015s/a0015s04.htm>>.
- FERNÁNDEZ, H. & E. DOMÍNGUEZ. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Investigaciones de la UNT, Ciencias Exactas y Naturales; Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo. 2001. 282 p.
- FERNÁNDEZ, M. & N. OLEA. Sustancias Químicas y Repercusión en Salud: Disruptores Endocrinos. 2006. Congreso Internacional Salud y Hábitat organizado por la Asociación de Estudios Geobiológicos GEA. Barcelona, España.

- FIGUEROA R., C. VALDOVINOS, E. ARAYA & O. PARRA. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 2003, vol. 76, 2, p. 275-285.
- FIGUEROA, R; A. PALMA; V.H. RUIZ & X. NIELL. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural*. 2007, vol.80, 2, p. 225-242.
- GARAYAR, C.; H. VALLENAS & G. CORONADO. *Gran Atlas del Perú*. Lima: Ediciones Peisa, 2005. 352 p.
- GRANADA, A. “Estimación de la exposición neonatal a pesticidas organoclorados, disruptores endocrinos”. Asesora: Fátima Ólea Serrano. Tesis para optar el grado de Doctor. Universidad de Granada. Granada, España. 2006.
- GUERRERO, M. & B. LLOYD. Using biotic indicators to assess water quality in Peru. *Waterlines*. 1992: Vol.10, p. 5-8.
- GOBIERNO REGIONAL DE AMAZONAS. *Plan estratégico regional agrario de Amazonas 2009-2015*. Amazonas. 2009. 98 p.
- GUTIÉRREZ, J.; H.W. RISS & R. OSPINA-TORRES. Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neuronales artificiales. *Caldasía*. 2004. Vol. 26, 1, p. 151-160
- HAUER, F. R. & V. H. RESH. Benthic Macroinvertebrates. *In* Hauer F.R. y G.A. Lamberti (ed): *Methods in Stream Ecology*. New York: Academy Press, 1996, p. 339-369.

- HEPP, L.U. & S. SANTOS. Benthic communities of streams related to different land uses in a hydrographic basin in southern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2009, vol. 157, p. 305-318.
- HEPP, L. U.; S. V MILESI; C. BIASI & R. M. RESTELLO. Effects of agricultural and urban impacts on macroinvertebrates assemblages in streams (Rio Grande do Sul, Brazil). *Zoologia*. 2010, vol. 27, 1, p. 106–113.
- HILSENHOFF, W. Rapid field assesment of organic pollution with a family level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*. 1988, vol. 7, 1, p.65-68.
- INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (INGEMMET). *Mapa Geológico del Perú*. 1975. Escala 1:1000000.
- JACOBSEN, D. The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian Highland streams. *Arch. Hydrobiol.* 1998, vol. 143, 2, p. 179-195.
- JACOBSEN, D. Altitudinal changes in diversity of macroivertebrate from small streams in the Ecuadorian Andes. *Arch. Hydrobiol.* 2003, vol. 158, 2, p. 145-167.
- JACOBSEN, D. & A. ENCALADA. The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams in wet and dry seasons. *Archiv fur Hydrobiologie*. 1998, vol. 142, 1, p. 53-70.
- JERGENTZ, S., H. MUGNI, C. BONETTO, R. SCHULZ. Assessment of insecticide contamination in runoff and stream water of small agricultural streams in the main soybean area of Argentina. *Chemosphere*. 2005, Vol. 61, nº. 6, p. 817-826.
- KULLBERG, A. Benthic macroinvertebrate community structure in. 20 streams of varying pH and humic content. *Environ. Pollut.* 2003, vol. 78, nº. 1-3, p. 103–106.

- LAKE, P. S. Disturbance, patchiness, and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society*. 2000, vol. 19, 4, p. 573–592.
- LENAT, D.R. & J.K. CRAWFORD. Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont streams. *Hydrobiologia*. 1994, vol. 294, 3, p. 185-199.
- LEIVA, M. J. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del Estero Peu Peu comuna de Lautaro IX Región de la Araucanía”. Asesores: Francisco Encina y Rodrigo Palma. Tesis de Licenciatura en Recursos Naturales. Universidad Católica de Temuco. Chile. 2004.
- LOZANO, L. La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del Río Juan Amarillo, Cerros Orientales de Bogotá. *Umbral Científico*. 2005, Vol. 07, p. 5-11.
- MERRITT R. & K. CUMMINS. An introduction to the aquatic insects of North America. Third edition. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 1996. p. 862.
- MESA, M.L.; H.R. FERNÁNDEZ & M.V. MANZO. Seasonal patterns of benthic arthropods in a subtropical Andean basin. *Limnologica*. 2009, vol. 39, 2, p. 152-162.
- MESA, L. Effect of spates and land use on macroinvertebrate community in Neotropical Andean streams. *Hydrobiologia*. 2010, vol 641, 1, p. 85-95.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA (MINAG). *Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor*. Decreto Supremo 017-2009-AG. 2009.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). *Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua* Decreto Supremo 002-2008-MINAM. 2008.

- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). *Sistema de información ambiental regional*. 2009. [Citado 12-01-2011]. Disponible en <http://sinia.minam.gob.pe/siaramazonas/index.php?accion=verListMapas>>.
- MINETTI, J. & A.G. POBLETE. Climatic classification of Northwestern of Argentina. Laboratorio climático sudamericano. 2003. Fundación Caldenus, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- MOHAMMAD B.; R. GARZA; V. GARZA & J. LANDEROS. Los indicadores biológicos en la evaluación de la contaminación por agroquímicos en Ecosistemas acuáticos y asociados. *CUICYT*. 2005, vol. 2, 6, p. 4-17.
- MOLINA, C.I.; F.M. GIBON; J. PINTO & C. ROSALES. Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la Cordillera Real, Bolivia: variación anual y longitudinal en relación a factores ambientales. *Ecología Aplicada*. 2008, Vol. 7, no. 1-2, p. 105-116.
- MOLOZZI, J.; L.U. HEPP & A.S. DIAS. Influência da cultura de arroz sobre a comunidade bentônica no vale do Itajaí (Santa Catarina, Brasil). *Acta Limnologica Brasilensia*. 2007, vol. 19 4, p. 383-392.
- MOYA, N.; F. M. GIBON; T. OBERDORFF, *et al.* Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del altiplano boliviano: implicaciones para el futuro cambio climático. *Ecol. apl.* 2009, vol.8, n°.1-2, p.105-114.
- MUGNAI, R.; R.B. OLIVEIRA; A.D. CARVALHO & D.F. BAPTISTA. Adaptation of the Índice Biotico Esteso (IBE) for water quality assessment in rivers of Serra do Mar, Rio de Janeiro State, Brazil. *Tropical Zoology*. 2008, vol. 21, n°. 1, p. 57-74.

- NEUMANN M.; J. BAUMEISTER; M. LIESS & R. SCHULZ. An expert system to estimate the pesticide contamination of small streams using benthic macroinvertebrates as bioindicators Part 1: The database of LIMPACT. *Ecological Indicators*. 2003, vol. 2, 4, p. 379-389.
- OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES (ONERN). *Mapa Ecológico del Perú - Guía Explicativa*. Lima. 1976, 146 pp.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Guías para la calidad *del agua potable*. 2006. [Citado 12-01-2011] Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq3_es_full_lowres.pdf.
- OLLER, C. & E. GOITIA. Macroinvertebrados bentónicos y metales pesados en el Río Pilcomayo (Tarija, Bolivia). *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*. 2005, 18, p. 17- 32.
- PALM, B. Pesticide use in rice cultivation in Tarapoto, Peru. Usage patterns and pesticide residues in water sources. Supervisors: Henrik Kylin and Cesar Chappa Santa Maria. Tesis para optar el grado de Máster. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suecia, 2007.
- PAREDES, C.; J. IANNAONE; & L. ALVARINO. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad de agua en dos ríos de Cajamarca y Amazonas. Perú. *Revista Peruana de Entomología*. 2004, vol. 44, 1, p. 107-1 18.
- PAREDES, C.; J. IANNAONE; & L. ALVARINO. Uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad de agua en el río Rímac. Lima-Callao, Perú. *Revista Colombiana de Entomología*. 2005, vol. 31, 2, p. 219-225.

- PETERSEN, R. The RCE: a riparian, channel, and environmental inventory for small streams in the agricultural landscape. *Freshwater Biology*. 1992, vol. 27, p. 295-306.
- PINHEIRO DE SOUSA, D. Leptohyphidae (Hexapoda: Ephemeroptera) imaturos das cabeceiras e media bacia do rio Pindaiba, MT. Nova Xavantina, MT.” Orientadora: Helena Soares Ramos Cabette. Trabalho de conclusão de curso para obter o Título de Bióloga, Universidade de Mato Grosso, MT, Brasil, 2006.
- PINILLA AGUDELO, G., J. DUARTE COY & L. VEGA MORA. Índice de estado limnológico (IEL) para evaluar las condiciones ecológicas de las ciénagas del Canal del Dique. *Acta Biológica Colombiana*, Norteamérica, 15, ago. 2010.
- PRAT, N.; G. GONZÁLEZ & X. MILLET. 1986. Comparación crítica de dos índices de calidad del agua: ISQA y BILL. *Artículos Técnicos (España)* 31: 33-49.
- PRAT N.; B. RÍOS; R. ACOSTA & M. RIERADEVALL. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En: E. Domínguez y H.R. Fernández (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Argentina: Publicaciones Especiales. Fundación Miguel Lillo. San Miguel de Tucumán, 2009, p.631-651.
- PROINVERSIÓN. *Estadísticas-Amazonas*. 2010. [Citado 12-01-2011] Disponible en <<http://www.proinversion.gob.pe/0/0/modulos/JER/PlantillaSectorHijo.aspx?ARE=0&PFL=0&JER=3304>>.
- RESH, V. H.; A. V. BROWN; A. P. COVICH; M. E. GURTZ; H. W. LI; G. W. MINSHALL; S. R. REICE; A. L. SHELDON; J. B. WALLACE & R. C. WISSMAR. The

role of disturbance in stream ecology. *J. North Am. Benthol. Soc.* 1988, vol. 7, . 4, p. 433–455.

- RESH, V. H. & J. K. JACKSON. Rapid assessment approaches in benthic macroinvertebrate biomonitoring studies. In: D. M. Rosenberg and V. H. Resh (eds.), *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York: Chapman and Hall. 1993, p. 195-233.
- RIVAS, Z.; J. SANCHEZ; F. TRONCONE, *et al.* Nitrógeno y fósforo totales de los ríos tributarios al sistema lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*. 2009, vol.34, no.5, p.308-314.
- ROLDÁN, G. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 1º edición. Editorial Universidad de Antioquia. Colección Ciencia y Tecnología U de A. 529 pp. Medellín, Colombia. 1992.
- ROLDÁN, G. Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía. 1996. Primera reimpresión. Presencia Ltda. Colciencias, Universidad de Antioquia, Bogotá – Colombia.
- ROLDÁN, G. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua, en: *Bioindicadores ambientales de la calidad del agua*. 1997. Cali: Universidad del Valle.
- ROLDÁN, G. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 1999, vol. 23, 88, p. 375-387.
- ROLDÁN, G. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP/Col.* Colección Ciencia y Tecnología, Editorial Universidad de Antioquia, Colombia, 2003. 170 p.

- ROQUE, F. O.; L. S. LECCI; T.SIQUEIRA & C. G. FROEHLICH. Using environmental and spatial filters to explain stonefly occurrences in southeastern Brazilian streams: implications for biomonitoring. *Acta Limnol. Bras.* 2008, vol. 20, nº. 1, p. 35-44.
- ROSENBERG, D.M. & V.H. RESH. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York: Chapman & Hall, 1993, 488 p.
- SCHULZ, R. Field Studies on Exposure, Effects and Risk Mitigation of Aquatic Nonpoint-Source Insecticide Pollution - a Review. *J. Environ. Qual.* 2004, vol. 33, . 2, p. 419-448.
- SEGNINI, S. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropicos*. 2003, vol.16, 2, p.45-63.
- SIEGLOCH, A. M. “Comunidades de ninfas de Ephemeroptera Haeckel, 1896 (Hexapoda), do curso médio do Rio Jacuí e Afluentes, Rio Grande do Sul, Brasil”. Orientador: Claudio Gilberto Froehlich. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, USP, Brasil. 2006.
- SIOLI H. The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty river and its basin. *Monographiae Biologicae* Volume 56, ed. H. J. Dumont Dordrecht/ Boston/ Lancaster: Dr. W. Junk Publishers, 1984. 762 p.
- SONG, M.Y. Impact of agricultural land use on aquatic insect assemblages in the Garonne river catchment (SW France). *Aquat Ecol.* 2009, vol. 43, p. 999–1009.
- TOWNSEND C.R. & A.G. HILDREW. Species trait in relation to a habitat templet for river systems. *Freshwater Biology*. 1994, vol.31, 3, p. 265-275.

- TRIPOLE S.; E. A. VALLANIA & M. C. CORIGLIANO. Benthic macroinvertebrate tolerance to water acidity in the Grande River sub-basin (San Luis, Argentina). *Limnetica*. 2008, vol. 27, no. 1, p. 29-38.
- TURNBULL, D.; C. SOULSBY; S. LANGAN; R. OWEN & D. HIRST. Macroinvertebrate status in relation to critical loads for freshwaters: A case study from N.E. Scotland. *Water, Air and Soil Pollution*. 1995, vol. 85, n°. 4, p. 2461-2466.
- VAN DAMME, P. A.; C. HAMEL; A. AYALA; & L. BERVOETS. 2008. Macroinvertebrate community response to acid mine drainage in rivers of the High Andes (Bolivia). *Environmental Pollution*. 2008, vol. 56, p. 1061–1068.
- VARGAS, J. Clima, informe temático. *Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas*, convenio entre el IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas. Iquitos – Perú. 2010.
- WAGGONER, L. A. “Land use controls on water quality and aquatic ecosystems in the Andean Amazon, Peru”. Major advisor: Michael McClain. Master's thesis. Florida International University. Miami. 2006.
- WANTZEN, K.M. & G. RUEDA-DELGADO. Técnicas de muestreo de macroinvertebrados bentónicos. En: E. Domínguez y H.R. Fernández (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Argentina: Publicaciones Especiales. Fundación Miguel Lillo. San Miguel de Tucumán, 2009, p.17-40.
- WASHINGTON, H.G. 1984. Diversity and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Res.*, 18 (6): 653-694.

- WENTWORTH, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, Vol. 30, p. 377-392.
- WIGGINS, G.B. Larvae of the North American Caddisfly Genera (Trichoptera). Second Edition. Toronto, ON, Canada: University of Toronto Press, 1996. 457 p.
- WOODIWISS, F.S. 1964. The biological system of stream classification used by the Trent River Board. *Chemistry and Industry*, 83: 443-447.
- ZÚÑIGA DE CARDOSO, M. C.; A. M. ROJAS & G. CAICEDO. Indicadores ambientales de la calidad de agua en la cuenca del río Cauca. *Revista de la Asociación de Ingenieros sanitarios de Antioquia-AINSA*. 1993, vol. 13, 2, p. 17-28.

ANEXOS

ANEXO 1. PROTOCOLO "RCE": *RIPARIAN, CHANNEL AND ENVIRONMENT*.

Cuenca _____ Nombre del río _____
 Ubicación _____
 Ancho _____ m Profund media _____ m Long trecho examinado _____ m
 V. Corriente _____ m/s Caudal _____ m³/s Altitud _____ m

Procedimiento:

Determinar las condiciones de la vegetación ribereña y la zona de canal donde se harán los muestreos de macroinvertebrados bentónicos. Las condiciones locales deben ser evaluadas 100 metros arriba y 100 metros abajo del punto muestreado. La estimación media de las condiciones del trecho del río es realizada a partir de la suma de todos los valores obtenidos en todos los ítems del índice. El valor final debe ser comparado con una tabla de resultados encontrada abajo del último ítem del índice.

1- Patrón del uso de la tierra más allá de la zona de vegetación ribereña.

- Inalterada, consistiendo de bosque, humedales naturales, pantanos y/o turberas	30
- Pasto permanente, mezclado con bosque y pantano	20
- Área de cultivo mezclada con pasto	10
- Principalmente áreas de cultivo	01

2 – Ancho de vegetación ribereña desde el río hasta el campo

- Área de vegetación ribereña con bosque o pantano > 30 m de ancho	30
- Área de vegetación ribereña con bosque o pantano variando entre 5 e 30 m	20
- Área de vegetación ribereña con bosque o pantano con 1 a 5 m de ancho	05
- Área de vegetación ribereña sin bosque o pantano	01

3 – Integridad de la vegetación ribereña

- Zona ribereña intacta sin espacios en la vegetación	30
- Espacios ocurriendo en intervalos mayores a 50 m	20
- Espacios frecuentes con algunas cicatrices y barrancos a cada 50 m	05
- Marcado profundamente con barrancos en toda su longitud	01

4 - Estado de la vegetación ribereña a menos de 10 m. de la zona de canal

- > 90% de la densidad constituida por árboles no pioneros o arbustos, o plantas de pantano nativas	30
- Especies pioneras mezcladas con árboles maduros	20
- Mezcla de pasto con algunos árboles pioneros y arbustos	15
- Vegetación constituida de grama y pocos arbustos	01

5 - Dispositivos de retención	
- Canal con rocas y troncos viejos firmemente colocados en su lugar	15
- Rocas y troncos presentes muy cubiertas de sedimento	10
- Dispositivo de retención suelto, moviéndose con el flujo	05
- Canal con sedimento arenoso suelto; poca obstrucción en el canal	01
6 - Estructura del canal	
- Relación ancho/profundidad < 7	15
- Relación ancho/profundidad entre 8 e 15	10
- Relación ancho/profundidad entre 15 e 25	05
- Relación ancho/profundidad > 25 o río canalizado	01
7 - Sedimentos en el canal	
- Poco o ningún ampliación resultante del acumulo de sedimento	15
- Algunas barreras de grava de piedras gruesas y escombros lavados presentes, poco limo	10
- Barrera de sedimento de piedras, arena y limo común	05
- Canal dividido en trenzas o río canalizado	01
8 - Estructura del barranco del río	
- Barranco estable de roca y suelo, cubierto de grama, arbustos y raíces	25
- Barranco firme pero pobremente asegurado por grama y arbustos	15
- Barranco con suelo suelto, capa escasa de grama y arbustos	05
- Barranco inestable, con suelo suelto o arena fácilmente perturbable	01
9 - Excavaciones sobre el barranco	
- Poca o ninguna evidencia o restringida a áreas de soporte de raíces	20
- Excavaciones apenas en las curvas y constricciones	15
- Excavaciones frecuentes	05
- Excavaciones severas a lo largo del canal con caídas de barrancos	01
10 - Apariencia del sustrato de piedra	
- Piedras limpias, redondeadas, sin bordes afilados pudiendo ser un poco oscurecidas	25
- Piedras redondeadas, con un poco de arena y limo adherido	15
- Algunas piedras con puntas, cubiertas con arena y limo	05
- Piedras brillantes y con puntas, cubiertas de arena e limo	01
11 - Lecho del río	
- Fondo de piedras de varios tamaños agrupadas, con intersticio obvio	25
- Fondo de piedras fácilmente movibles, con un poco de limo	15
- Fondo de lomo, cascajo y arena en lugares estables	05

- Fondo uniforme de limo y arena suelta, sustrato de piedra ausente	01
12 - Correderas y pozas o meandros	
- Distintos, ocurriendo en intervalos de 5 a 7 veces el ancho del río	25
- Espaciamiento irregular	20
- Amplias pozas separando cortas correderas, meandros ausentes	10
- Meandros y correderas/pozas ausentes o río canalizado	01
13 - Vegetación acuática	
- Cuando esta presente consiste de musgos y parches de algas	15
- Algas dominantes en las pozas, plantas vasculares a lo largo del margen	10
- Enmarañados de algas, algunas plantas vasculares y pocos musgos	05
- Algas enmarañadas en el fondo, plantas vasculares dominan los canales	01
14 – Peces	
Peces reófilos presentes, población nativa, en la mayoría de las pozas	20
Pocos peces reófilos, dificultades en localizarlos	15
Ningún pez reófilo, algunos peces lenticos presentes en las pozas	10
Peces ausentes o escasos	01
15 – Detritos	
Principalmente de hojas y material leñoso sin sedimentos	25
Pocas hojas y madera, detritos orgánicos finos floculantes sin sedimento	10
Ninguna hoja o madera, materia orgánica bruta y fina con sedimento	05
Sedimento fino anaeróbico, ningún detrito bruto	01
16 – Macrobentos	
Muchas especies presentes en todos los tipos de sustrato	20
Muchas especies presentes pero apenas en hábitats bien aireados	15
Pocas especies presentes pero encontradas en la mayoría de los hábitats	05
Poca o ninguna especie y apenas en hábitats bien aireados	01

Tabla de resultados del índice.

CLASE	Score	Evaluación de Integridad	Acciones recomendables
I	293-360	Excelente	Biomonitoreamiento y protección del estatus existente
II	224-292	Muy bueno	Alteraciones seleccionadas y monitoreamiento
III	154-223	Bueno	Pequeñas alteraciones necesarias
IV	86-153	Regular	Grandes alteraciones necesarias
V	16-85	Pobre	Reorganización estructural completa

ANEXO 2. TAXA PRESENTES EN ÉPOCA HÚMEDA.

PERIODO HÚMEDO	E1-(H)		E2-(H)		E3-(H)		E4-(H)		E5-(H)		TOTAL
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	
CLASE HEXAPODA											
EPHEMEROPTERA											
<i>Tricorythodes</i>							48	94			142
<i>Leptohyphes</i>			1								1
<i>Leptohyphodes</i>								1			1
<i>Thraulodes</i>	1										1
<i>Terpides</i>							12	6			18
<i>Paracloeodes</i>								2			2
<i>Bernerius</i>							13				13
<i>Camelobaetidius</i>								4			4
<i>Lachlania</i>			1								1
TRICHOPTERA											
<i>Metrichia</i>								7	1		8
<i>Smicridea</i>							1	2			3
<i>Wormaldia</i>										2	2
COLEOPTERA											
<i>Tropisternus</i>						1					1
<i>Berosus</i>						1					1
<i>Heterelmis</i>				5			2	2			9
<i>Neaelmis</i>								1			1
<i>Phanocerus</i>				1							1
Curculionidae			1								1
HEMIPTERA											
<i>Tenagobia</i>						1					1
DIPTERA											
Tabanidae											
Orthoclaadiinae							117	110	12	2	241
Chironominae	7	2	4	6	1	7	45	84	22	13	191
Tanyptodinae							7	6		1	14
Blepharoceridae	1										1
Simuliidae					2		6	6	2	4	20
Ceratopogonidae 1							1				1
Empididae				1	1			1	7		10
CLASE GASTROPODA											
<i>Melanoides</i>								1			1
CLASE BIVALVIA											
Sphaeriidae							3				3
CLASE ARACHNIDA											
Hydrachnidia 1							4	1			5
RIQUEZA	3	1	4	4	3	4	12	16	5	5	29
ABUNDANCIA	9	2	7	13	4	10	259	328	44	22	698

ANEXO 3: TAXA PRESENTES EN ÉPOCA SECA

PERIODO SECO	E1-(S)			E2-(S)			E3-(S)			E4-(S)			E5-(S)			E6-(S)			TOTAL
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
CLASE HEXAPODA																			
EPHEMEROPTERA																			
<i>Tricorhthodes</i>			1	18	24	22	16	67	12	769	648	451			1	450			2479
<i>Tricorythopsis</i>			1																1
<i>Leptohyphes</i>	132	218	66			11							2			397	145	175	1146
<i>Leptohyphodes</i>				4	20														24
Leptohyphidae																3			3
<i>Thraulodes</i>	33	174	104		3					51		11				93	122	363	954
<i>Lachlania</i>			3	1	46	9													59
<i>Traverella</i>					5	7											15		27
<i>Terpides</i>					5	6					14						9		34
<i>Baetodes</i>	67	194	177		4	1						1				747	666	491	2348
<i>Cloeodes</i>	4	4	5	22	6			1								63	14	1	120
<i>Paracloeodes</i>					76	128					4					4	2	2	216
<i>Varipes</i>	5	18	2							13						17	37	219	311
<i>Guajirolus</i>	4	1			2											4	12	6	29
<i>Apobaetis</i>				11	3	12			2							1	1		30
<i>Bernerius</i>		1				1							4			1		6	13
<i>Camelobaetidius</i>	122	101	29	7	37	5										32	6	37	376
Baetidae		17													1	80	4	15	117
<i>Brasilocaenis</i>																	1		1
<i>Brachycercus</i>					88	11													99
<i>Homoeoneuria</i>	3																		3
<i>Euthyplocia</i>					12	1										2			15
TRICHOPTERA																			
<i>Hydroptila</i>											1								1
<i>Oxyethira</i>									1		1								2
<i>Metrichia</i>	3						9	6	2		8	2	43	1			10		84
<i>Neotrichia</i>						3	1	2			1						4		11
<i>Alisotrichia</i>													3						3
<i>Smicridea</i>	51	39	20		29	3	1	2		1			10		12	58	60	68	354
<i>Chimarra</i>															2				2
<i>Wormaldia</i>	2									1			3						6
<i>Xiphocentron</i>										1									1
<i>Mortoniella</i>	6	4	2							1						5	5	3	26
<i>Nectopsyche</i>		1			2														3
PLECOPTERA																			

<i>Anacroneuria</i>	4	2	2										1		3	13	12	37
ODONATA																		
Zygoptera												1						1
Calopterygidae									1									1
Coenagrionidae							2		4			2				4		12
<i>Argia</i>										4								4
Libellulidae																4	2	6
<i>Tramea</i>															3			3
<i>Brechmorhoga</i>	5											4						9
COLEOPTERA																		
<i>Anchytarsus</i>																3		3
<i>Tropisternus</i>					1			16		1								18
<i>Berosus</i>							1	3				1						5
<i>Macrelmis</i>	5				2	1									2	8		18
<i>Heterelmis</i>	39	76	20		4	4		3	2		4		94	1	24	20	52	369
<i>Neoelmis</i>	5																16	40
<i>Microcyloepus</i>	1				1												2	4
<i>Hexacylloepus</i>						1												1
<i>Phanocerus</i>						1										2	8	15
<i>Narpus</i>		1	1								1							3
<i>Hydrobiomorpha</i>	7											23		8				38
<i>Psephenus</i>																	1	1
<i>Tychepsephenus</i>																	1	1
Curculionidae																		
Staphylinidae															1		1	2
<i>Stenus</i>												2						2
MEGALOPTERA																		
<i>Corydalus</i>	5															2		8
HEMIPTERA																		
<i>Cryphocricos</i>	1	1			2											7	4	16
<i>Rhagovelia</i>				6	7	5					1							19
<i>Microvelia</i>									4									4
LEPIDOPTERA																		
Pyalidae																		1
DIPTERA																		
Tabanidae	7												2					9
Orthoclaadiinae	52	50	12	1	5	5	320	466	3	109	183	322	232	25	43	213	165	2253
Chironominae	67	281	193	5	17	12	613	2677	1242	12	807	244	977	225	332	55	774	8626
Tanypodinae		2	1	2	8	1	104	823	466	49	313	145	288	313	120	66	203	2916
Dolichopodidae	1																	1
Stratiomyidae	2	1											11		5			30
Blepharoceridae																	2	2

<i>Maruina</i>																			1	1
Simuliidae		3	6			3	14			10			110	20	33	13	67	38		317
Ceratopogonidae 1	14	7	1		1	2			4	1	7	1	70	33	6	7	25	3		182
Ceratopogonidae 2	1										1									2
Ceratopogonidae 3											11		3				14			28
Empididae	2		1							2	2		3		2	7	6			25
Tipulidae	2				6						2		14		4	1	6	3		38
Culicidae													1							1
Ephydriidae															1					1
COLEMBOLA																				
Entomobrya				1		1							2							4
CLASE GASTROPODA																				
Gastropoda						1														1
<i>Physa</i>													1							1
<i>Lymnaea</i>				1		1														2
<i>Biomphalaria</i>						1														1
<i>Melanoides</i>																	1			1
CLASE BIVALVIA																				
Sphaeriidae						1											5			6
CLASE ARACHNIDA																				
Hydrachnidia 1	3	1	1	1	8	6		15			2	3				10	3	5		58
Hydrachnidia 2																		1		1
CLASE OLIGOCHAETA																				
Haplotaxida				1	4												6			11
CLASE HIRUDINEA																				
Hirudinea					1															1
RIQUEZA	31	23	21	15	28	31	8	12	12	15	20	11	26	7	16	30	45	29		88
ABUNDANCIA	655	1197	648	82	427	267	1078	4065	1757	1025	2015	1182	1906	618	597	1916	2958	1665		24058

ANEXO 4. RÉPLICAS DE RIQUEZA EN EL ÁREA DE ESTUDIO. PERIODO 2009.

RIQUEZA	Estación húmeda					Estación seca					
	E1-(H)	E2-(H)	E3-(H)	E4-(H)	E5-(H)	E1-(S)	E2-(S)	E3-(S)	E4-(S)	E5-(S)	E6-(S)
R1	3	4	3	12	5	31	15	8	15	26	30
R2	1	4	4	16	5	23	28	12	20	7	45
R3	-	-	-	-	-	21	31	12	11	16	29

ANEXO 5. RÉPLICAS DE ABUNDANCIA EN EL ÁREA DE ESTUDIO. PERIODO 2009.

ABUNDANCIA	Estación húmeda					Estación seca					
	E1-(H)	E2-(H)	E3-(H)	E4-(H)	E5-(H)	E1-(S)	E2-(S)	E3-(S)	E4-(S)	E5-(S)	E6-(S)
R1	9	7	4	259	44	655	82	1078	1025	1906	1916
R2	2	13	10	328	22	1197	427	4065	2015	618	2958
R3	-	-	-	-	-	648	267	1757	1182	597	1665

ANEXO 6. ANÁLISIS SIMPER. DISIMILITUD ENTRE ÉPOCAS SECA Y HÚMEDA.

Disimilaridad 93,22%	Época seca Época húmeda			
Taxa	Prom. Abundancia	Prom. Abundancia	Contrib%	Acum.%
Chironominae	479.22	19.1	29.7	29.7
Tricorhythodes	137.72	14.2	10.63	40.33
Tanypodinae	162	1.4	10.4	50.73
Ortochladinae	125.17	24.1	8.13	58.86
<i>Baetodes</i>	130.44	0	8.09	66.95
<i>Leptohyphes</i>	63.67	0.1	4.9	71.85
<i>Paracloeodes</i>	12	0.2	4.05	75.9
<i>Thraulodes</i>	53	0.1	3.92	79.82
<i>Camelobaetidius</i>	20.89	0.4	2.84	82.66
<i>Smicridea</i>	19.67	0.3	1.97	84.63
<i>Brachycercus</i>	5.5	0	1.95	86.58
<i>Heterelmis</i>	20.5	0.9	1.9	88.48
Simuliidae	17.61	2	1.33	89.81
<i>Lachlania</i>	3.28	0.1	1.12	90.93

ANEXO 7. ANÁLISIS SIMPER. DISIMILITUD ENTRE ESTACIONES DE MUESTREO. ÉPOCA SECA.

Disimilaridad 89,51%	E1-(S)	E2-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
Chironominae	180.33	11.33	17.02	17.02
<i>Baetodes</i>	146	1.67	15.11	32.13
<i>Leptohyphes</i>	138.67	3.67	13.53	45.66
<i>Thraulodes</i>	103.67	1	10.16	55.82
<i>Camelobaetidius</i>	84	16.33	7.49	63.31
<i>Paracloeodes</i>	0	68	6.88	70.19
<i>Heterelmis</i>	45	2.67	4.17	74.36
Ortochladinae	38	3.67	3.59	77.95

<i>Smicridea</i>	36.67	10.67	3.19	81.15
<i>Brachycercus</i>	0	33	3.09	84.24
<i>Tricorhythodes</i>	0.33	21.33	2.26	86.49
<i>Lachlania</i>	1	18.67	1.72	88.21
<i>Apobaetis</i>	0	8.67	1	89.21
<i>Cloeodes</i>	4.33	9.33	0.97	90.18
Disimilaridad 84,54%	E1-(S)	E3-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
Chironominae	180.33	1510.67	45.85	45.85
Tanypodinae	1	464.33	15.94	61.79
Ortochladinae	38	263	9.92	71.71
<i>Baetodes</i>	146	0	6.34	78.05
<i>Leptohyphes</i>	138.67	0	5.91	83.95
<i>Thraulodes</i>	103.67	0	4.39	88.34
<i>Camelobaetidius</i>	84	0	3.67	92.02
Disimilaridad 96,34%	E2-(S)	E3-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
Chironominae	11.33	1510.67	58.36	58.36
Tanypodinae	3.67	464.33	17.18	75.54
Ortochladinae	3.67	263	12.03	87.56
<i>Paracloeodes</i>	68	0	3.35	90.91
Disimilaridad 83,45%	E1-(S)	E4-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
<i>Tricorhythodes</i>	0.33	622.67	35.03	35.03
Chironominae	180.33	354.33	14.29	49.32
Ortochladinae	38	204.67	9.37	58.69
Tanypodinae	1	169	8.36	67.05
<i>Baetodes</i>	146	0.33	7.96	75.02
<i>Leptohyphes</i>	138.67	0	7.43	82.45
<i>Camelobaetidius</i>	84	0	4.64	87.08
<i>Thraulodes</i>	103.67	20.67	4.46	91.54
Disimilaridad 94,30%	E2-(S)	E4-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
<i>Tricorhythodes</i>	21.33	622.67	41.29	41.29
Chironominae	11.33	354.33	18.31	59.6
Ortochladinae	3.67	204.67	13.63	73.23
Tanypodinae	3.67	169	9.61	82.84
<i>Paracloeodes</i>	68	1.33	4.39	87.23
<i>Brachycercus</i>	33	0	2.03	89.26
<i>Thraulodes</i>	1	20.67	1.66	90.93

Disimilaridad 64,67%	E3-(S)	E4-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
Chironominae	1510.67	354.33	46.45	46.45
<i>Tricorhithodes</i>	31.67	622.67	28.38	74.82
Tanypodinae	464.33	169	13.34	88.17
Ortochladinae	263	204.67	8.32	96.48
Disimilaridad 72,13%	E1-(S)	E5-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
Chironominae	180.33	511.33	21.85	21.85
Tanypodinae	1	240.33	19.07	40.92
<i>Baetodes</i>	146	0	11.73	52.65
<i>Leptohyphes</i>	138.67	0.67	10.8	63.45
<i>Thraulodes</i>	103.67	0	8.02	71.47
<i>Camelobaetidius</i>	84	0	6.82	78.29
Ortochladinae	38	100	4.56	82.86
Simuliidae	3	54.33	3.37	86.23
<i>Heterelmis</i>	45	39.67	2.87	89.11
<i>Smicridea</i>	36.67	7.33	2.45	91.56
Disimilaridad 95,39%	E2-(S)	E5-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
Chironominae	11.33	511.33	37.95	37.95
Tanypodinae	3.67	240.33	22.2	60.15
Ortochladinae	3.67	100	6.25	66.4
<i>Paracloeodes</i>	68	0	6.19	72.59
Simuliidae	1	54.33	3.89	76.48
<i>Brachycercus</i>	33	0	2.77	79.26
Ceratopogonidae 1	1	36.33	2.65	81.9
<i>Heterelmis</i>	2.67	39.67	2.48	84.38
<i>Tricorhithodes</i>	21.33	0	2.08	86.46
<i>Lachlania</i>	18.67	0	1.59	88.05
<i>Camelobaetidius</i>	16.33	0	1.46	89.51
<i>Smicridea</i>	10.67	7.33	1.07	90.58
Disimilaridad 53,46%	E3-(S)	E5-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
Chironominae	1510.67	511.33	56.47	56.47
Tanypodinae	464.33	240.33	16.7	73.17
Ortochladinae	263	100	14.17	87.34
Simuliidae	4.67	54.33	2.69	90.03
Disimilaridad 64,62%	E4-(S)	E5-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%

<i>Tricorhithodes</i>	622.67	0	43.23	43.23
Chironominae	354.33	511.33	24.07	67.3
Ortochladinae	204.67	100	10.5	77.8
Tanypodinae	169	240.33	8.94	86.75
Simuliidae	3.33	54.33	2.89	89.63
<i>Heterelmis</i>	1.33	39.67	2.13	91.76
Disimilaridad 57,81%	E1-(S)	E6-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
<i>Baetodes</i>	146	634.67	28.87	28.87
Chironominae	180.33	307.33	13.97	42.83
<i>Thraulodes</i>	103.67	192.67	8	50.83
<i>Leptohyphes</i>	138.67	239	7.95	58.78
<i>Tricorhithodes</i>	0.33	150.33	6.89	65.67
Ortochladinae	38	141.67	6.02	71.69
<i>Varipes</i>	8.33	91	5.58	77.27
Tanypodinae	1	93.67	4.72	81.99
<i>Camelobaetidius</i>	84	25	3.5	85.49
<i>Simuliidae</i>	3	39.33	2	87.49
<i>Baetidae</i>	5.67	33	1.95	89.44
<i>Smicridea</i>	36.67	62	1.55	90.99
Disimilaridad 93,58%	E2-(S)	E6-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
<i>Baetodes</i>	1.67	634.67	28.75	28.75
<i>Leptohyphes</i>	3.67	239	11.23	39.97
Chironominae	11.33	307.33	10.71	50.69
<i>Thraulodes</i>	1	192.67	9.6	60.29
Ortochladinae	3.67	141.67	6.05	66.33
<i>Tricorhithodes</i>	21.33	150.33	5.48	71.82
<i>Varipes</i>	0	91	4.77	76.58
Tanypodinae	3.67	93.67	3.4	79.98
<i>Paracloeodes</i>	68	2.67	3	82.99
<i>Smicridea</i>	10.67	62	2.43	85.41
Baetidae	0	33	1.64	87.05
Simuliidae	1	39.33	1.62	88.67
<i>Brachycercus</i>	33	0	1.42	90.09
Disimilaridad 78,90%	E3-(S)	E6-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
Chironominae	1510.67	307.33	32.87	32.87
<i>Baetodes</i>	0	634.67	19.53	52.4
Tanypodinae	464.33	93.67	10.2	62.61
<i>Leptohyphes</i>	0	239	7.6	70.21

<i>Thraulodes</i>	0	192.67	6.3	76.51
Ortochladinae	263	141.67	6.14	82.65
<i>Tricorhythodes</i>	31.67	150.33	4.15	86.81
<i>Varipes</i>	0	91	3.06	89.87
<i>Smicridea</i>	1	62	1.91	91.78
Disimilaridad 73,49%	E4-(S)	E6-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
<i>Baetodes</i>	0.33	634.67	24.71	24.71
<i>Tricorhythodes</i>	622.67	150.33	19.83	44.54
<i>Chironominae</i>	354.33	307.33	13.15	57.7
<i>Leptohyphes</i>	0	239	9.66	67.36
<i>Thraulodes</i>	20.67	192.67	7.13	74.49
Tanypodinae	169	93.67	4.7	79.2
Ortochladinae	204.67	141.67	4.39	83.59
<i>Varipes</i>	4.33	91	3.73	87.31
<i>Smicridea</i>	0.33	62	2.44	89.76
Baetidae	0	33	1.38	91.13
Disimilaridad 76,25%	E5-(S)	E6-(S)		
Taxa	Prom.Abund	Prom.Abund	Contrib%	Acum.%
<i>Baetodes</i>	0	634.67	27.21	27.21
<i>Chironominae</i>	511.33	307.33	16.75	43.96
<i>Leptohyphes</i>	0.67	239	10.65	54.62
<i>Thraulodes</i>	0	192.67	8.93	63.54
<i>Tanypodinae</i>	240.33	93.67	7.37	70.91
<i>Tricorhythodes</i>	0	150.33	5.04	75.95
<i>Varipes</i>	0	91	4.38	80.33
Ortochladinae	100	141.67	4.33	84.66
<i>Smicridea</i>	7.33	62	2.41	87.07
Baetidae	0.33	33	1.51	88.58
Simuliidae	54.33	39.33	1.43	90

ANEXO 8. SIMILITUD DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO. ÉPOCA SECA.

Similitud E1-(S): 70.71				
Taxa	Prom.Abund	Prom.Sim	Contrib%	Acum.%
<i>Chironominae</i>	5.04	8.2	11.6	11.6
<i>Baetodes</i>	4.89	8.15	11.52	23.12
<i>Leptohyphes</i>	4.83	7.86	11.11	34.24
<i>Thraulodes</i>	4.45	7.02	9.93	44.16
<i>Camelobaetidius</i>	4.28	6.71	9.5	53.66

<i>Smicridea</i>	3.56	5.77	8.16	61.82
<i>Heterelmis</i>	3.69	5.77	8.16	69.98
Ortochladinae	3.49	5.3	7.5	77.48
Similitud E2-(S): 49.24				
Taxa	Prom.Abund	Prom.Sim	Contrib%	Acum.%
<i>Tricorhythodes</i>	3.1	7.13	14.49	14.49
Chironominae	2.42	4.75	9.64	24.13
<i>Camelobaetidius</i>	2.5	4.5	9.14	33.27
<i>Rhagovelia</i>	1.94	4.39	8.92	42.19
<i>Apobaetis</i>	2.15	4.36	8.85	51.04
<i>Paracloeodes</i>	3.07	2.68	5.44	56.48
<i>Lachlania</i>	2.28	2.64	5.37	61.84
Hydrachnidia 1	1.61	2.42	4.92	66.77
Ortochladinae	1.43	2.33	4.73	71.5
Tanypodinae	1.33	1.98	4.02	75.51
Similitud E3-(S): 65.27				
Taxa	Prom.Abund	Prom.Sim	Contrib%	Acum.%
Chironominae	7.15	22.12	33.89	33.89
Tanypodinae	5.84	17.05	26.12	60.01
Ortochladinae	4.43	9.35	14.32	74.33
<i>Tricorhythodes</i>	3.21	8.83	13.53	87.86
<i>Metrichia</i>	1.78	4.57	7.01	94.87
Similitud E4-(S): 59.35				
Taxa	Prom.Abund	Prom.Sim	Contrib%	Acum.%
<i>Tricorhythodes</i>	6.41	17.18	28.94	28.94
Ortochladinae	5.23	13.42	22.62	51.56
Tanypodinae	4.88	11.74	19.78	71.34
Chironominae	4.92	9.65	16.27	87.6
Similitud E5-(S): 60.38				
Taxa	Prom.Abund	Prom.Sim	Contrib%	Acum.%
Chironominae	6.04	14.19	23.51	23.51
Tanypodinae	5.4	13.01	21.54	45.05
Ortochladinae	4.16	8.73	14.45	59.5
Simuliidae	3.76	8.15	13.49	73
Ceratopogonidae 1	3.24	6.23	10.33	83.32
Similitud E6-(S): 69.80				
Taxa	Prom.Abund	Prom.Sim	Contrib%	Acum.%
<i>Baetodes</i>	6.44	7.07	10.12	10.12
<i>Leptohyphes</i>	5.38	5.68	8.13	18.26
<i>Thraulodes</i>	5.08	5.2	7.45	25.7
Ortochladinae	4.78	4.78	6.84	32.55

<i>Chironominae</i>	5.07	4.7	6.74	39.28
<i>Smicridea</i>	4.14	4.59	6.58	45.86
<i>Varipes</i>	3.97	3.51	5.03	50.89
<i>Heterelmis</i>	3.44	3.51	5.02	55.91
<i>Tanypodinae</i>	4.03	3.45	4.94	60.85
<i>Simuliidae</i>	3.51	3.32	4.76	65.61
<i>Camelobaetidius</i>	3.03	2.85	4.08	69.69
<i>Baetidae</i>	2.93	2.31	3.3	73
<i>Anacroneuria</i>	2.2	1.97	2.82	75.82

ANEXO 9. CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES BIÓTICAS Y DE CALIDAD DE AGUA. ÉPOCA SECA.

	Riqueza	Abundancia	Temperatura del agua (°C)	O2 disuelto (mg/L)	pH	Conductividad (µS)	S.T.D.	Sulfatos (ppm)	Fosfatos (ppm)	Coliformes totales (NMP INDEX / 100 ml)	Coliformes fecales (NMP INDEX / 100 ml)
Riqueza	1	-.220	-.765	.298	,954**	-.463	-.457	-.664	.089	.177	.173
Abundancia	-.220	1	.458	-.572	-.304	-.010	-.018	.471	-.239	-.484	-.254
T° de agua (°C)	-.765	.458	1	-.758	-,867*	.239	.230	.578	-.680	-.149	-.222
O2 disuelto (mg/L)	.298	-.572	-.758	1	.539	-.018	-.008	-.451	,843*	.466	.582
pH	,954**	-.304	-,867*	.539	1	-.311	-.303	-.623	.307	.233	.287
Conductividad (µS)	-.463	-.010	.239	-.018	-.311	1	1,000**	,831*	.046	-.531	-.498
S.T.D.	-.457	-.018	.230	-.008	-.303	1,000**	1	,825*	.052	-.526	-.492
Sulfatos (ppm)	-.664	.471	.578	-.451	-.623	,831*	,825*	1	-.171	-.753	-.673
Fosfatos (ppm)	.089	-.239	-.680	,843*	.307	.046	.052	-.171	1	.060	.272
Coliformes totales (NMP INDEX / 100 ml)	.177	-.484	-.149	.466	.233	-.531	-.526	-.753	.060	1	,927**
Coliformes fecales (NMP INDEX / 100 ml)	.173	-.254	-.222	.582	.287	-.498	-.492	-.673	.272	,927**	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ANEXO 10. ALGUNOS TAXA ENCONTRADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

PERIODO 2009.



Foto 1. *Hydrobiomorpha* sp.



Foto 2. *Neoelmis* sp.



Foto 3. *Mortoniella* sp.



Foto 4. *Neotrichia* sp.



Foto 5. *Baetodes* sp.



Foto 6. Tipulidae.